

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

EXPRESS MAIL NO. EL 920 880 232 US

DATE OF DEPOSIT 12/18/01

*L. Nelson*  
*#2/Priority Doc.*  
*5-3-02*

Our File No. 9281-4250  
Client Reference No. N US00116

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of: )  
Kiyoshi Sato )  
Serial No. To Be Assigned )  
Filing Date: Herewith )  
For: Method for Manufacturing Perpendicular )  
Magnetic Recording Head Having Inverted )  
Trapezoidal Main Magnetic Pole Layer )

10971 U.S. PTO  
10/025040  
12/18/01

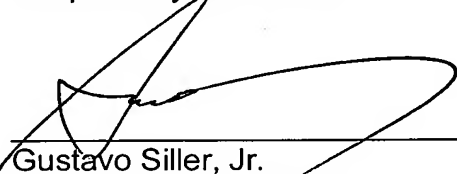
**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No. 2000-394663, filed December 26, 2000 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,

  
\_\_\_\_\_  
Gustavo Siller, Jr.  
Registration No. 32,305  
Attorney for Applicant

BRINKS HOFER GILSON & LIONE  
P.O. BOX 10395  
CHICAGO, ILLINOIS 60610  
(312) 321-4200

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

JC971 U.S. PTO

10/025040



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-394663

出 願 人

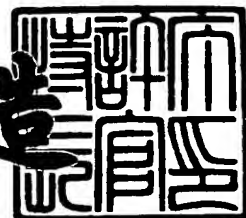
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2001年 9月20日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3086772

【書類名】 特許願

【整理番号】 001272AL

【提出日】 平成12年12月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明の名称】 垂直磁気記録ヘッドの製造方法

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 佐藤 清

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 垂直磁気記録ヘッドの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 以下の工程を有することを特徴とする垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

- (a) 磁性材料で補助磁極層を形成する工程、
- (b) 記録媒体との対向面となる面よりも奥側で、前記補助磁極層の上に磁性材料で接続層を形成する工程、
- (c) 前記記録媒体との対向面となる面よりも奥側の領域にコイル層を形成する工程、
- (d) 前記補助磁極層上に絶縁層を積層する工程、
- (e) 前記絶縁層の上に、前記対向面の部分でトラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する主磁極形成溝を有する無機絶縁層を形成する工程、
- (f) 前記主磁極形成溝内で、主磁極層を形成する工程、
- (g) 前記主磁極層と前記接続層を、直接又は前記主磁極層の上と前記接続層の上にヨーク層を形成して、磁氣的に接続する工程、

【請求項 2】 前記 (e) の工程において、前記絶縁層の上に、リフトオフ用のレジスト層を積層し、このリフトオフ用のレジスト層をマスクとして、前記絶縁層の表面に対する垂直方向又は前記垂直方向より所定の角度方向から、前記無機絶縁層を前記レジスト層の下面に形成された切り込み部内にまで成膜した後、前記レジストを除去することにより、トラック幅方向の内幅寸法が、補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する前記主磁極形成溝を有する無機絶縁層を形成する請求項 1 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 3】 前記 (e) の工程において、前記絶縁層の上に無機絶縁層を順次成膜し、前記無機絶縁層上に、溝がパターン形成されたレジスト層を形成後前記レジスト層を熱処理すること、または前記溝のパターン形成精度を調節することにより、

側面がトラック幅方向に対する傾斜面であるエッチング用の溝を有するレジスト層を形成し、

このレジスト層をマスクとして、前記無機絶縁層をエッチングによって掘り込むことにより、前記無機絶縁層に、トラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する前記主磁極形成溝を形成する請求項 1 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 4】 前記 (e) の工程において、前記絶縁層の上に無機絶縁層順次成膜し、

前記無機絶縁層上に、側面がトラック幅方向に対する垂直面または傾斜面であるエッチング用の溝がパターン形成されたレジスト層を形成後、前記レジスト層をマスクとして、前記無機絶縁層をエッチングによって掘り込むことにより、前記無機絶縁層に、トラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する前記主磁極形成溝を形成する請求項 1 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 5】 前記 (f) の工程において、前記主磁極層をスパッタ法や蒸着法などの成膜プロセスによって形成する請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 6】 前記主磁極形成溝を形成後、この主磁極形成溝以外の前記絶縁層及び前記無機絶縁層の表面領域をレジスト層によってマスクし、前記主磁極形成溝内に磁性材料を成膜プロセスによって埋め込み、その後前記レジスト層を除去することにより前記主磁極層を形成する請求項 5 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 7】 前記 (e) の工程において、前記絶縁層の上に、メッキ下地層を介して前記無機絶縁層を成膜し、このメッキ下地層が露出するように前記主磁極形成溝を形成し、

前記 (f) の工程において、前記主磁極層をメッキによって形成する請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 8】 前記 (f) の工程と前記 (g) の工程の間に、

(h) 前記主磁極層の中心線に対して所定の角度だけ傾いた方向からミリング

粒子を入射させるミリングで、前記主磁極層の上面を平坦化させる工程を有する請求項 7 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 9】 前記 (h) の工程において、前記所定の角度を  $35^{\circ}$  以上  $80^{\circ}$  以下とする請求項 8 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 10】 前記 (h) の工程において、前記所定の角度を  $40^{\circ}$  以上  $50^{\circ}$  以下とする請求項 8 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 11】 前記 (e) の工程において、前記メッキ下地層を非磁性材料を用いて形成する請求項 7 ないし 10 のいずれかに記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【請求項 12】 前記 (h) の工程と同時に、または前記 (h) の工程の後に、

(i) 前記主磁極層の中心線に対して所定の角度だけ傾いた方向からミリング粒子を入射させるミリングによって、前記主磁極形成溝が形成された前記無機絶縁層の下層以外の前記メッキ下地層を除去する工程を有する請求項 11 記載の垂直磁気記録ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばハード膜を有するディスクなどの記録媒体に対して垂直磁界を与えて記録を行う垂直磁気記録ヘッドに係り、特に記録パターンにフリンジングが発生するのを抑制し、高記録密度化に対応可能な垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法を提供することを目的としている。

【0002】

【従来の技術】

ディスクなどの記録媒体に磁気データを高密度で記録する装置として垂直磁気記録方式がある。図 4 1 は前記垂直磁気記録方式の装置に使用される垂直磁気記録ヘッドの一般的な構造を示す断面図である。

【0003】

図 4 1 に示すように、垂直磁気記録方式の垂直磁気記録ヘッド H は、記録媒体

上を浮上して移動しまたは摺動するスライダ 1 のトレーリング側端面に設けられるものであり、例えばスライダ 1 のトレーリング側端面 1 a において、前記垂直磁気記録ヘッド H は、非磁性膜 2 と、非磁性の被覆膜 3 との間に配置される。

## 【 0 0 0 4 】

前記垂直磁気記録ヘッド H は、強磁性材料で形成された補助磁極層 4 と、前記補助磁極層 4 の上に間隔を開けて形成された同じく強磁性材料で形成された主磁極層 5 とを有しており、前記補助磁極層 4 の端面 4 a と前記主磁極層 5 の端面 5 a とが、記録媒体 M d との対向面 H a に現れている。前記対向面 H a よりも奥側において、前記補助磁極層 4 と前記主磁極層 5 は、磁気接続部 6 において磁氣的に接続されている。

## 【 0 0 0 5 】

前記補助磁極層 4 と前記主磁極層 5 との間には  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  などの無機材料による非磁性絶縁層 7 が位置しており、前記対向面 H a では、この非磁性絶縁層 7 の端面 7 a が、前記補助磁極層 4 の端面 4 a と前記主磁極層 5 の端面 5 a との間に現れている。

## 【 0 0 0 6 】

そして、前記非磁性絶縁層 7 内には、Cu などの導電性材料で形成されたコイル層 8 が埋設されている。

## 【 0 0 0 7 】

図 4 1 に示すように、主磁極層 5 の端面 5 a の厚み h w は、補助磁極層 4 の端面 4 a の厚み h r よりも小さくなっている。また前記主磁極層 5 のトラック幅方向（図示 X 方向）の端面 5 a の幅寸法はトラック幅であり、この幅寸法は、前記補助磁極層 4 のトラック幅方向の端面 4 a の幅寸法よりも十分に小さくなっている。

## 【 0 0 0 8 】

前記垂直磁気記録ヘッド H により磁気記録が行われる記録媒体 M d は、垂直磁気記録ヘッド H に対して Y 方向へ移動するものであり、その表面にハード膜 M a が内方にソフト膜 M b が設けられている。

## 【 0 0 0 9 】



前記コイル層 8 に通電されることにより補助磁極層 4 と主磁極層 5 とに記録磁界が誘導されると、補助磁極層 4 の端面 4 a と、主磁極層 5 の端面 5 a との間での漏れ記録磁界が、記録媒体 M d のハード膜 M a を垂直に通過し、ソフト膜 M b を通る。ここで、前記のように主磁極層 5 の端面 5 a の面積が、補助磁極層 4 の端面 4 a での面積よりも十分に小さくなっているため、主磁極層 5 の端面 5 a の対向部分で磁束  $\phi$  が集中し、端面 5 a が対向する部分での前記ハード膜 M a に対し、前記磁束  $\phi$  により磁気データが記録される。

【 0 0 1 0 】

【発明が解決しようとする課題】

図 4 2 は図 4 1 の垂直磁気記録ヘッドを記録媒体との対向面側から見た部分正面図である。図 4 1 及び図 4 2 の垂直磁気記録ヘッドの主磁極層 5 は、磁性材料からなるメッキ下地層 5 b 上に、磁性材料を用いてメッキ形成されている。メッキ形成された主磁極層 5 は上面 5 c が凸状に湾曲した曲面になる。また、従来の垂直磁気記録ヘッドでは主磁極層 5 の側辺 5 d, 5 d がトラック幅方向（図示 X 方向）に対する垂直面となっている。

【 0 0 1 1 】

図 4 3 は、図 4 1 及び図 4 2 に示された垂直磁気記録ヘッドによって信号が記録された記録媒体上の記録トラックの平面図である。

【 0 0 1 2 】

スライダ 1 がディスク状の記録媒体 M d の外周と内周との間を移動する際に、記録媒体 M d の回転接線方向（図示 Y 方向）に対して前記主磁極層 5 の側辺 5 d, 5 d が傾くスキュー角が発生することがある。ここで図 4 2 に示すように主磁極層 5 の側辺 5 d, 5 d がトラック幅方向に対する垂直面であると、主磁極層 5 の側辺 5 d, 5 d が記録媒体の移動接線方向（図示 Y 方向）に対してスキュー角を有するときに、破線で示すように主磁極層の側辺 5 d, 5 d がトラック幅 T w 1 の外側に斜めの漏れ磁界を与えてフリンジング F が発生し、オフトラック性能の低下を招く。

【 0 0 1 3 】

また、主磁極層 5 の上面 5 c が凸状に湾曲した曲面であると、記録トラック上

の磁区境界Bが湾曲し、再生波形のパルス幅が広くなり高記録密度化を進めると鮮明な記録磁化分布が得られなくなる。従って、記録トラックの長さ方向（図示A方向）の記録密度を上げることが難しくなる。

【0014】

本発明は、上記従来の課題を解決するためのものであり、記録パターンにフリンジングが発生するのを抑制できオフトラック性能の向上を図ることが可能であり、また、記録トラックの長さ方向（図示A方向）の記録密度を向上させることのできる垂直磁気記録ヘッドの製造方法を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明の垂直磁気記録ヘッドの製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

- (a) 磁性材料で補助磁極層を形成する工程、
- (b) 記録媒体との対向面となる面よりも奥側で、前記補助磁極層の上に磁性材料で接続層を形成する工程、
- (c) 前記記録媒体との対向面となる面よりも奥側の領域にコイル層を形成する工程、
- (d) 前記補助磁極層上に絶縁層を積層する工程、
- (e) 前記絶縁層の上に、前記対向面の部分でトラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する主磁極形成溝を有する無機絶縁層を形成する工程、
- (f) 前記主磁極形成溝内で、主磁極層を形成する工程、
- (g) 前記主磁極層と前記接続層を、直接又は前記主磁極層の上と前記接続層の上にヨーク層を形成して、磁氣的に接続する工程、

本発明の垂直磁気記録ヘッドの製造方法によって、記録媒体との対向面に、補助磁極層と主磁極層とが間隔を開けて位置し、前記対向面よりも奥側に前記補助磁極層と前記主磁極層とに記録磁界を与えるコイル層が設けられ、前記主磁極層に集中する前記記録媒体平面に対する垂直方向磁界によって、前記記録媒体に磁気データを記録する垂直磁気記録ヘッドを得ることができる。

## 【 0 0 1 6 】

本発明の垂直磁気記録ヘッドの製造方法では、前記（e）の工程において、前記無機絶縁層に、トラック幅方向の内幅寸法が、補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する溝を形成し、前記（f）の工程において、前記溝内で主磁極層を形成する。

## 【 0 0 1 7 】

すなわち、得られた垂直磁気記録ヘッドの主磁極層は、前記対向面でトラック幅方向の内幅寸法が、前記補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広くなるように、前記主磁極層の前記補助磁極側の端辺よりも上辺（トレーリング側の端辺）が幅広とされている。すなわち前記対向面において前記主磁極層の正面形状が略逆台形になっている。

## 【 0 0 1 8 】

前記対向面において前記主磁極層の正面形状が略逆台形になっていると、記録媒体に記録を行うとき、前記主磁極層の側辺が記録媒体の移動接線方向に対してスキュー角を生じても、前記側辺が記録トラックの外にはみ出すことを防ぐことができ、フリンジングを防止できるようになり、オフトラック性能の向上を図ることができる。

## 【 0 0 1 9 】

本発明では、前記（e）の工程において、前記絶縁層の上に、リフトオフ用のレジスト層を積層し、このリフトオフ用のレジスト層をマスクとして、前記絶縁層の表面に対する垂直方向又は前記垂直方向より所定の角度方向から、前記無機絶縁層を前記レジスト層の下面に形成された切り込み部内にまで成膜した後、前記レジストを除去することにより、トラック幅方向の内幅寸法が、補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する前記主磁極形成溝を有する無機絶縁層を形成することができる。

## 【 0 0 2 0 】

または、前記（e）の工程において、前記絶縁層の上に無機絶縁層を順次成膜し、  
前記無機絶縁層上に、溝がパターン形成されたレジスト層を形成後前記レジスト

層を熱処理すること、または前記溝のパターン形成精度を調節することにより、側面がトラック幅方向に対する傾斜面であるエッチング用の溝を有するレジスト層を形成し、

このレジスト層をマスクとして、前記無機絶縁層をエッチングによって掘り込むことにより、前記無機絶縁層に、トラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する前記主磁極形成溝を形成することができる。

#### 【 0 0 2 1 】

あるいは、前記（e）の工程において、前記絶縁層の上に無機絶縁層順次成膜し、

前記無機絶縁層上に、側面がトラック幅方向に対する垂直面または傾斜面であるエッチング用の溝がパターン形成されたレジスト層を形成後、前記レジスト層をマスクとして、前記無機絶縁層をエッチングによって掘り込むことにより、前記無機絶縁層に、トラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する前記主磁極形成溝を形成することができる。

#### 【 0 0 2 2 】

また、本発明では、前記（f）の工程において、前記主磁極層をスパッタ法や蒸着法などの成膜プロセスによって形成することができる。

#### 【 0 0 2 3 】

前記主磁極層をスパッタ法や蒸着法などの成膜プロセスによって形成するときには、前記主磁極形成溝を形成後、この主磁極形成溝以外の前記絶縁層及び前記無機絶縁層の表面領域をレジスト層によってマスクし、前記主磁極形成溝内に磁性材料を成膜プロセスによって埋め込み、その後前記レジスト層を除去することにより前記主磁極層を形成することが好ましい。

#### 【 0 0 2 4 】

または、前記（e）の工程において、前記絶縁層の上に、メッキ下地層を介して前記無機絶縁層を成膜し、このメッキ下地層が露出するように前記主磁極形成溝を形成し、

前記 (f) の工程において、前記主磁極層をメッキによって形成することもできる。

【 0 0 2 5 】

前記 (f) の工程において、前記主磁極層をメッキによって形成するときには、前記 (f) の工程と前記 (g) の工程の間に、

(h) 前記主磁極層の中心線に対して所定の角度だけ傾いた方向からミリング粒子を入射させるミリングで、前記主磁極層の上面を平坦化させる工程を有することが好ましい。

【 0 0 2 6 】

前記主磁極層の上面を平坦化させることにより、前記対向面において前記主磁極層の前記上辺を直線形状にすることができる。

【 0 0 2 7 】

前記記録媒体は、垂直磁気記録ヘッドの前記補助磁極側からヨーク層側に向かう方向に走行する。従って、前記記録媒体上の記録トラックの磁区境界の形状は、前記主磁極層の上辺の形状によって決まる。

【 0 0 2 8 】

前記主磁極層の前記上辺が直線状にされていると前記記録トラックの磁区境界も直線形状となり、記録トラックの長さ方向の記録密度を上げて鮮明な記録磁化分布を得ることができ、良好な記録再生特性を得ることができる。

【 0 0 2 9 】

前記 (h) の工程において、前記所定の角度を  $35^{\circ}$  以上  $80^{\circ}$  以下とすることが好ましく、より好ましくは、前記所定の角度を  $40^{\circ}$  以上  $50^{\circ}$  以下とすることである。

【 0 0 3 0 】

なお、前記 (d) の工程において、前記メッキ下地層を非磁性材料を用いて形成することが好ましい。

【 0 0 3 1 】

本発明では、前記 (h) の工程と同時に、または前記 (h) の工程の後に、

(i) 前記主磁極層の中心線に対して所定の角度だけ傾いた方向からミリング

粒子を入射させるミリングによって、前記主磁極形成溝が形成された前記無機絶縁層の下層以外の前記メッキ下地層を除去する工程を有することができる。

【 0 0 3 2 】

このとき、主磁極層に重なる領域以外の領域に前記メッキ下地層が残るが、前記メッキ下地層を非磁性材料を用いて形成することにより、垂直磁気記録ヘッドの記録特性に大きな影響を及ぼさないようにできる。

【 0 0 3 3 】

【発明の実施の形態】

図 1 は本発明の第 1 実施形態の垂直磁気記録ヘッドの構造を示す縦断面図である。図 2 は垂直磁気記録ヘッドを記録媒体との対向面から見た部分正面図である。

【 0 0 3 4 】

図 1 に示す垂直磁気記録ヘッド H b は記録媒体 M d に垂直磁界を与え、記録媒体 M d のハード膜 M a を垂直方向に磁化させるものである。

【 0 0 3 5 】

記録媒体 M d はディスク状であり、その表面に残留磁化の高いハード膜 M a が、内方に磁気透過率の高いソフト膜 M b を有しており、ディスクの中心が回転軸中心となって回転させられる。

【 0 0 3 6 】

垂直磁気記録ヘッド H b のスライダ 1 1 は  $Al_2O_3 \cdot TiC$  などの非磁性材料で形成されており、スライダ 1 1 の対向面 1 1 a が記録媒体 M d に対向し、記録媒体 M d が回転すると、表面の空気流によりスライダ 1 1 が記録媒体 M d の表面から浮上し、またはスライダ 1 1 が記録媒体 M d に摺動する。垂直磁気記録ヘッドはスライダ 1 1 のトレーリング側端面 1 1 b 側に設けられている。図 1 においてスライダ 1 1 に対する記録媒体 M d の移動方向は図示 Z 方向である。

【 0 0 3 7 】

スライダ 1 1 のトレーリング側端面 1 1 b には、 $Al_2O_3$  または  $SiO_2$  などの無機材料による非磁性絶縁層 5 4 が形成されて、この非磁性絶縁層 5 4 の上に読取り部  $H_R$  が形成されている。

## 【0038】

読み取り部 $H_R$ は、下から下部シールド層52、ギャップ層55、磁気抵抗効果素子53、および上部シールド層51から成る。磁気抵抗効果素子53は、異方性磁気抵抗効果（AMR）素子、巨大磁気抵抗効果（GMR）素子、トンネル磁気抵抗効果（TMR）素子などである。

## 【0039】

上部シールド層51の上には、 $Al_2O_3$ または $SiO_2$ などの無機材料による非磁性絶縁層12が形成されて、非磁性絶縁層12の上に本発明の記録用の垂直磁気記録ヘッドHbが設けられている。そして垂直磁気記録ヘッドHbは無機非磁性絶縁材料などで形成された保護層13により被覆されている。そして垂直磁気記録ヘッドHbの記録媒体との対向面H1aは、スライダ11の対向面11aとほぼ同一面である。

## 【0040】

垂直磁気記録ヘッドHbでは、パーマロイ（Ni-Fe）などの強磁性材料がメッキされて補助磁極層21が形成されている。補助磁極層21はいわゆるリターンパス層と呼ばれるものである。非磁性絶縁層12は、補助磁極層21の下（補助磁極層21と上部シールド51との間）および補助磁極層21の周囲に形成されている。そして図1に示すように、補助磁極層21の表面21aと非磁性絶縁層12の表面12aとは同一の平面上に位置している。

## 【0041】

図1に示すように、対向面H1aよりも奥側（ハイト方向、図示X方向）では、補助磁極層21の表面21a上にNi-Feなどの接続層25が形成されている。

## 【0042】

接続層25の周囲において、補助磁極層21の表面21aおよび非磁性絶縁層12の表面12a上に、 $Al_2O_3$ などの非磁性絶縁層26が形成されて、この非磁性絶縁層26の上にCuなどの導電性材料によりコイル層27が形成されている。このコイル層27はフレームメッキ法などで形成されたものであり、接続層25の周囲に所定の巻き数となるように螺旋状にパターン形成されている。コイ

ル層 27 の巻き中心側の接続端 27 a 上には同じく Cu などの導電性材料で形成された底上げ層 31 が形成されている。

## 【0043】

コイル層 27 および底上げ層 31 は、レジスト材料などの有機材料の絶縁層 32 で被覆されており、さらに絶縁層 33 で覆われている。

## 【0044】

絶縁層 33 は無機絶縁材料で形成されることが好ましく、無機絶縁材料としては、 $AlO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO$ 、 $AlN$ 、 $AlSiN$ 、 $TiN$ 、 $SiN$ 、 $Si_3N_4$ 、 $NiO$ 、 $WO$ 、 $WO_3$ 、 $BN$ 、 $CrN$ 、 $SiON$ のうち少なくとも1種以上を選択できる。

## 【0045】

そして接続層 25 の表面 25 a、底上げ層 31 の表面 31 a、および絶縁層 33 の表面 33 a は、同一面となるように加工されている。このような平坦化加工は後述の製造方法で説明するように、CMP 技術などを用いて行なわれる。

## 【0046】

この第1実施形態では、絶縁層 33 の上に、NiFe からなる主磁極層 24 が形成されており、主磁極層 24 の前端面 24 a は、対向面 H1 a と同一面とされている。主磁極層 24 は非磁性材料からなるメッキ下地層 24 b 上にメッキ形成されている。

## 【0047】

絶縁層 33 の上には、無機絶縁層 35 を介して NiFe 合金などからなるヨーク層 36 が形成されている。ヨーク層 36 は NiFe からなるメッキ下地層 36 d 上にメッキ形成されている。図 1 では、主磁極層 24 の後方部 24 c とヨーク層 36 の先部領域 36 b が磁氣的に接続され、またヨーク層 36 の後方領域 36 c は接続層 25 の上面 25 a に磁氣的に接続された状態になっている。

## 【0048】

また、主磁極層 24 がハイト方向奥側に延され、主磁極層 24 の後方部 24 c が接続層 25 の上面 25 a に磁氣的に接続され、主磁極層 24 の上層にヨーク層 36 が形成されてもよい。



## 【0049】

またヨーク層36の前端面36aは、対向面H1aよりもハイト方向奥側に位置して保護層13内に埋没しており、対向面H1aには現れていない。

## 【0050】

なお本実施の形態ではヨーク層36の膜厚H2は、主磁極層24の膜厚H1よりも厚く形成される。

## 【0051】

またヨーク層36の前端面36aは、ハイト方向（図示X方向）に対する垂直面となっている。ただし、ヨーク層36の前端面36aが下面から上面に向けてハイト方向に傾く傾斜面あるいは湾曲面で形成されてもよい。ヨーク層36の下に形成される主磁極層24の上面とヨーク層36の前端面36a間の外角 $\theta 1$ は $90^\circ$ 以上であることが好ましい。これによって主磁極層24からヨーク層36に向けて漏れる磁界を少なくでき主磁極層24により磁界を集中させることができるからである。

## 【0052】

また図1に示すように、底上げ層31の表面31aにはリード層37が形成され、リード層37から底上げ層31およびコイル層27に記録電流の供給が可能となっている。なお、リード層37はヨーク層36と同じ材料で形成でき、ヨーク層36とリード層37を同時にメッキで形成することが可能である。そして、ヨーク層36およびリード層37が $Al_2O_3$ からなる保護層13に覆われている。

## 【0053】

図2に示すように、対向面H1aに現れている主磁極層24は、トラック幅方向（図示Y方向）の内幅寸法が、補助磁極層21から離れるにしたがって徐々に広がるように、主磁極層24の補助磁極21側の端辺24dよりも上辺（トレーリング側の端辺）24eが幅広とされている。すなわち対向面H1aにおいて主磁極層24の正面形状が略逆台形になっている。なお、図2では主磁極層24の側辺24f1, 24f1が直線形状になっているが、側辺24f1, 24f1が湾曲していてもよい。

主磁極層 24 の周囲は、無機絶縁層 34 及び保護層 13 に覆われている。

【0054】

図 1 及び図 2 に示された垂直磁気記録ヘッドのトラック幅  $T_w$  は上辺 24 e の内幅寸法によって規制される。本発明では、トラック幅  $T_w$  を  $0.5 \mu\text{m}$  以下、さらには  $0.3 \mu\text{m}$  以下にできる。また、メッキ下地層 24 b の高さ寸法と主磁極層 24 の高さ寸法を合わせたポール長  $P$  は  $0.2 \sim 0.45 \mu\text{m}$  である。メッキ下地層 24 b の厚さは  $15 \sim 50 \text{nm}$  である。

【0055】

メッキ下地層 24 b は、Cu, Au, Pd, Rh, Ru, Pt, Ni, Lu, NiP, NiPd, NiW, NiB, NiMo, Ir, NiCu, NiCr, Cr, Ti などの非磁性材料を用いて形成されている。メッキ下地層 24 b が非磁性材料を用いて形成されていると、主磁極層 24 の側辺 24 f 1, 24 f 1 とメッキ下地層 24 b の側辺 24 b 1, 24 b 1 が連続した直線形状または曲線形状を構成していなくとも、例えば、図 2 に示されるように、主磁極層 24 の底面のトラック幅方向の幅寸法（主磁極層 24 の補助磁極層 21 側の端辺 24 d の内幅寸法）よりもメッキ下地層 24 b の内幅寸法（トラック幅方向の幅寸法）の方が大きくなっても記録媒体上の記録トラックパターンが乱れることを防ぐことができる。

【0056】

なお、後述するように、主磁極層 24 をスパッタ法などの成膜プロセスを用いて形成する場合にはメッキ下地層 24 b は形成されない。

【0057】

また、本実施の形態では、対向面 H 1 a において、主磁極層 24 の上辺 24 e が直線形状にされている。

【0058】

なお、主磁極層 24 の上辺 24 e と側辺 24 f 1 がなす角  $\theta_2$  は、 $60^\circ$  以上で  $90^\circ$  未満であることが好ましく、より好ましくは、 $60^\circ$  以上  $80^\circ$  以下である。

【0059】

図 3 に示すように、ヨーク層 3 6 は奥側に至るにしたがって幅寸法  $W_y$  が徐々に広がる形状であり、この幅寸法  $W_y$  が徐々に広がる部分のヨーク層 3 6 が主磁極層 2 4 の上に重ねられている。

## 【 0 0 6 0 】

または、図 4 に示すように、ヨーク層 3 6 は、対向面 H 1 a 側である先部領域 3 6 b でトラック幅方向の幅寸法  $W_y$  が細くなり、後方領域 3 6 c でトラック幅方向の幅寸法が徐々に大きくなる平面形状であって、前方領域 3 6 b が主磁極層 2 4 の上に重ねられていてもよい。

## 【 0 0 6 1 】

または図 5 に示すように、主磁極層 2 4 の後方部 2 4 c が幅寸法が徐々に広がる形状であり、この後方部 2 4 c にヨーク層 3 6 が重ねられていてもよい。

## 【 0 0 6 2 】

図 5 のように、主磁極層 2 4 の後方部 2 4 c が徐々に幅広になる形状であると、ヨーク層 3 6 から主磁極層 2 4 への磁束の通過効率が良くなって、オーバーライト特性を向上できる。なお、図 5 のように、主磁極層 2 4 の幅広の後方部 2 4 c がヨーク層 3 6 内に完全に入り込んだ平面形状であると、後方部 2 4 c が、ヨーク層 3 6 から前方にはみ出ているものよりも、ヨーク層 3 6 から主磁極層 2 4 への磁束の通過効率がよくなる。

## 【 0 0 6 3 】

図 3、図 4、図 5 のいずれの構造においても、対向面 H 1 a に現れている補助磁極層 2 1 の前端面 2 1 b のトラック幅方向の幅寸法  $W_r$  よりも、対向面 H 1 a に現れている主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a のトラック幅方向の幅寸法  $T_w$  が十分に小さくなっている。また図 1 に示すように、補助磁極層 2 1 の厚み  $H_3$  よりも主磁極層 2 4 の厚み  $H_1$  が小さくなっている。よって、対向面 H 1 a に現れている主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a の面積は、補助磁極層 2 1 の前端面 2 1 b の面積よりも十分に小さくなっている。また、主磁極層 2 4 の厚み  $H_1$  は、ヨーク層 3 6 の厚み  $H_2$  よりも小さい。

## 【 0 0 6 4 】

そして、対向面 H 1 a と平行な面で切断したときの断面で見たときに、主磁極

層 2 4 の断面積は、ヨーク層 3 6 の後方領域部分の断面積よりも小さくなっている。

【 0 0 6 5 】

そして好ましくは、主磁極層 2 4 はヨーク層 3 6 よりも飽和磁束密度  $B_s$  が高い磁性材料で形成されている。

【 0 0 6 6 】

この垂直磁気記録ヘッド H b では、リード層 3 7 を介してコイル層 2 7 に記録電流が与えられると、コイル層 2 7 を流れる電流の電流磁界によって補助磁極層 2 1 とヨーク層 3 6 に記録磁界が誘導される。図 1 に示すように、対向面 H 1 a では、主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a と補助磁極層 2 1 の前端面 2 1 b からの漏れ記録磁界が、記録媒体 M d のハード膜 M a を貫通しソフト膜 M b を通過する。主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a の面積が補助磁極層 2 1 の前端面 2 1 b の面積よりも十分に小さいために、主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a に漏れ記録磁界の磁束  $\phi$  が集中し、この集中している磁束  $\phi$  によりハード膜 M a が垂直方向へ磁化されて、磁気データが記録される。主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a から発生する又は吸収される漏れ記録磁界によってハード膜 M a の磁束密度は飽和し、補助磁極層 2 1 の前端面 2 1 b に吸収される又は発生する漏れ記録磁界によってはハード膜 M a はほとんど磁化されない。

【 0 0 6 7 】

また、この垂直磁気記録ヘッド H b では、主磁極層 2 4 とヨーク層 3 6 とが別の層として形成されているため、主磁極層 2 4 のトラック幅方向の幅寸法 T w および厚み H 1 を、ヨーク層 3 6 の幅寸法 W y および厚み H 2 と別のものとして設定することができる。したがって、主磁極層 2 4 の幅寸法 T w を小さくして、狭トラックによる記録を可能にできる。しかもヨーク層 3 6 を十分に大きな断面積となるように形成できるため、コイル層 2 7 で誘導された記録磁界の多くの磁束をヨーク層 3 6 から主磁極層 2 4 へ導くことができる。

【 0 0 6 8 】

そして、主磁極層 2 4 をヨーク層 3 6 よりも飽和磁束密度  $B_s$  の高い磁性材料で形成しておく、幅寸法 T w と厚み H 1 の小さい主磁極層 2 4 からハード膜 M

a に対して密度の高い磁束  $\phi$  を垂直方向へ与えることが可能となり、オーバーライト特性が向上するようになる。

## 【 0 0 6 9 】

図 6 は、図 1 及び図 2 に示された垂直磁気記録ヘッドによって信号が記録された記録媒体上の記録トラックの平面図である。

## 【 0 0 7 0 】

スライダ 1 1 がディスク状の記録媒体 M d の外周と内周との間を移動する際に、記録媒体 M d の回転接線方向（図示 Z 方向）に対して主磁極層 2 4 の側辺 2 4 f 1, 2 4 f 1 が傾くスキュー角が発生することがある。図 2 に示すように、対向面 H 1 a に現れている主磁極層 2 4 は、トラック幅方向（図示 Y 方向）の内幅寸法が、補助磁極層 2 1 から離れるにしたがって徐々に広くなるように、主磁極層 2 4 の補助磁極 2 1 側の端辺 2 4 d よりも上辺 2 4 e が幅広とされ、対向面 H 1 a において主磁極層 2 4 の正面形状が略逆台形になっている。

## 【 0 0 7 1 】

従って、主磁極層 2 4 の側辺 2 4 f 1, 2 4 f 1 が記録媒体の移動接線方向（図示 Z 方向）に対してスキュー角を有するときに、破線で示すように側辺 2 4 f 1 が記録トラック幅 T w から側方へ斜めに大きくはみ出すことがない。よって側辺 2 4 f 1 によるフリンジングを防止できるようになり、オフトラック性能の向上を図ることができる。

## 【 0 0 7 2 】

また、主磁極層 2 4 の上辺 2 4 e が直線形状であるので、記録トラック上の磁区境界 B 1 または B 2 も直線形状となり、再生波形のパルス幅が狭くなり高記録密度化を進めたときでも鮮明な記録磁化分布が得られる。従って、記録トラックの長さ方向（図示 Z 方向）の記録密度を上げることが容易になる。

## 【 0 0 7 3 】

図 1 ないし図 3 に示された垂直磁気記録ヘッドの製造方法について以下に説明する。図 7 から図 1 0 に示す一工程図は垂直磁気記録ヘッドの縦断面図を示している。

## 【 0 0 7 4 】

図7に示す工程では、非磁性絶縁層12上に磁性材料製の補助磁極層21を形成した後、補助磁極層21のハイト方向後方も非磁性絶縁層12で埋め、さらに補助磁極層21および非磁性絶縁層12の上面をCMP技術などを用いて平坦化加工する。

## 【0075】

次に、図8に示すように、補助磁極層21のハイト方向後方に、磁性材料製の接続層25をメッキ形成する。なお、接続層25の形成は、後述するコイル層27の形成後に行ってもよい。

## 【0076】

次に、図9に示すように、補助磁極層21上面21aから接続層25の上面にかけて無機絶縁材料をスパッタして非磁性絶縁層26を形成する。さらに、非磁性絶縁層26の上にフレームメッキ法を用いて、Cuなどの導電性材料により、コイル層27を形成し、底上げ層31を同じくメッキにより形成する。このときコイル層27は、接続層25の高さよりも十分に低い位置に形成する。そしてコイル層27と底上げ層31を有機材料の絶縁層32で覆い、さらに、無機絶縁材料をスパッタして、全ての層を覆う絶縁層33を形成する。

## 【0077】

次に、図9の状態に成膜された各層に対して、図示上方からCMP技術などを用いて研磨加工を行なう。この研磨加工は、絶縁層33、接続層25および底上げ層31の全てを横断する水平面（L-L面）の位置まで行なう。

## 【0078】

研磨加工の結果、図10に示すように、接続層25の上面25a、絶縁層33の表面33aおよび底上げ層31の表面31aが全て同一面となるように加工される。平坦化された絶縁層33の表面33a上、接続層25の上面面25a上、及び底上げ層31の表面31a上にメッキ下地層24bを成膜し、メッキ下地層24b上に、 $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などを用いて無機絶縁層34を成膜する。

## 【0079】

メッキ下地層24bは、Cu, Au, Pd, Rh, Ru, Pt, Ni, Lu, NiP, NiPd, NiW, NiB, NiMo, Ir, NiCu, NiCr, Cr

、Tiなどの非磁性材料を用いて形成する。

#### 【0080】

次に図1ないし図3に示す垂直磁気記録ヘッドの主磁極層24の製造方法について説明する。

#### 【0081】

まず、無機絶縁層34に主磁極層24をメッキ形成するために、無機絶縁層34に溝34aを形成する第1の方法について図11及び図12を参照して説明する。

#### 【0082】

図11は、図10に示す工程の後、無機絶縁層34上に、溝40aがパターニングされたレジスト層40を積層した状態を示すものであり、(B)は図10の図示上方向から見たときの部分断面図、(A)は(B)のA-A矢視方向から見た部分断面図である。

#### 【0083】

無機絶縁層34上一面にレジスト層40を形成し、露光現像により、記録媒体との対向面となる部分に、前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有し主磁極層24の抜きパターン形状の溝40aを形成する。溝40aは、図示左側に向かうに従って内幅方向(図示Y方向)の寸法が大きくなるメッキ溜め溝40a2と内幅方向の寸法が一定である主磁極形成溝40a1からなる。

#### 【0084】

メッキ下地層24bの厚さ $t_1$ は15~30nm、無機絶縁層34の厚さ $t_2$ は0.3~0.5 $\mu\text{m}$ 、レジスト層40の厚さ $t_3$ は0.5~1.5 $\mu\text{m}$ である。溝40aの内幅方向の寸法 $W_1$ は0.3~0.5 $\mu\text{m}$ である。

#### 【0085】

そして図12に示す工程では、プラズマエッチングまたは反応性イオンエッチング(RIE)により溝40a内に露出する無機絶縁層34を削る。このプラズマエッチングによって無機絶縁層34のみでなく、レジスト層40、40も削れていく。レジスト層40、40は角部40c、40cから削れていき、溝40aの側面40b、40bが傾斜面となる。さらに、無機絶縁層34に形成されてい

く溝 3 4 a もトラック幅方向の内幅寸法が、補助磁極層 2 1 から離れるにしたがって徐々に広がり、側面 3 4 b, 3 4 b が傾斜面となる。

#### 【 0 0 8 6 】

メッキ下地層 2 4 b の表面と無機絶縁層 3 4 の側面 3 4 b がなす角  $\theta 3$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  未満、より好ましくは、 $60^\circ$  以上  $80^\circ$  以下にする。本実施の形態では  $\theta 3 = 65^\circ \sim 80^\circ$  としている。前記  $\theta 3$  の大きさを規定することにより、形成される主磁極層 2 4 の側面のテーパ角を規定することができる。

#### 【 0 0 8 7 】

なお、溝 3 4 a の底面 3 4 c のトラック幅方向寸法  $W 2$  は  $0.2 \sim 0.32 \mu\text{m}$  である。

#### 【 0 0 8 8 】

次に、無機絶縁層 3 4 に溝 3 4 a を形成する第 2 の方法について図 1 1、図 1 3 及び図 1 4 を参照して説明する。

#### 【 0 0 8 9 】

図 1 1 に示すように、無機絶縁層 3 4 上一面にレジスト層 4 0 を形成し、露光現像により、記録媒体との対向面となる部分に、前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有し主磁極層 2 4 の抜きパターン形状の溝 4 0 a を形成する。溝 4 0 a は、先にも説明したように、図示左側に向かうに従って内幅方向（図示 Y 方向）の寸法が大きくなるメッキ溜め溝 4 0 a 2 と内幅方向の寸法が一定である主磁極形成溝 4 0 a 1 からなる。

#### 【 0 0 9 0 】

溝 4 0 a の形成後、レジスト層 4 0 を熱処理して、溝 4 0 a の側面 4 0 b, 4 0 b を傾斜面或いは湾曲面とする。すなわち、溝 4 0 a のトラック幅方向の内幅寸法が、補助磁極層 2 1 から離れるにしたがって徐々に広がるようにする。図 1 2 (A) では、溝 4 0 a の側面 4 0 b, 4 0 b を傾斜面としている。

#### 【 0 0 9 1 】

レジスト層 4 0 の熱処理条件を以下に示す。

熱処理温度：  $100^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$

熱処理時間： 10 min



熱処理後のメッキ下地層 2 4 b の表面とレジスト層 4 0 の側面 4 0 b がなす角  $\theta 4$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  未満、より好ましくは、 $60^\circ$  以上  $80^\circ$  以下にする。本実施の形態では  $\theta 4 = 80^\circ$  としている。前記  $\theta 4$  の大きさを規定することにより、形成される主磁極層 2 4 の側面のテーパ角を規定することができる。

## 【0092】

なお、溝 4 0 a の底面 4 0 c のトラック幅方向寸法  $W 3$  は  $0.3 \mu m$  である。

レジスト層 4 0 に形成された溝 4 0 a の側面 4 0 b, 4 0 b を傾斜面または湾曲面とするための他の方法として、レジスト層 4 0 の材料の露光感度を選択してパターニング精度を調節し、露光・現像の際にレジスト層 4 0 の下面側よりも上面側の内幅寸法が幅広となり、側面 4 0 b, 4 0 b が傾斜面または湾曲面となる溝 4 0 a を形成する方法がある。

## 【0093】

そして図 1 4 に示す工程では、反応性イオンエッチング (R I E) により溝 4 0 a 内に露出する無機絶縁層 3 4 を削る。溝 4 0 a の側面 4 0 b, 4 0 b が傾斜面または湾曲面であるので、無機絶縁層 3 4 に形成されていく溝 3 4 a も側面 3 4 b, 3 4 b が傾斜面または湾曲面となる。すなわち、無機絶縁層 3 4 に形成された溝 3 4 a のトラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層 2 1 から離れるにしたがって徐々に広がったものとなる。

## 【0094】

本実施の形態では、図 1 3 の工程でレジスト層 4 0 の材料の種類、熱処理温度などを設定することにより規定された角度  $\theta 4$ 、溝 4 0 a の底面の内幅寸法  $W 3$ 、レジスト層 4 0 の膜厚  $t 3$ 、無機絶縁層 3 4 の厚さ  $t 2$  に依存して、メッキ下地層 2 4 b の表面と無機絶縁層 3 4 の側面 3 4 b がなす角度  $\theta 5$  が決められる。

## 【0095】

角度  $\theta 5$  は  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  未満、より好ましくは、 $60^\circ$  以上  $80^\circ$  以下にすることが好ましい。本実施の形態では  $\theta 5 = 80^\circ$  としている。前記  $\theta 5$  の大きさを規定することにより、形成される主磁極層 2 4 の側面のテーパ角を規定することができる。

## 【0096】

なお、図 1 4 において、溝 3 4 a の底面 3 4 c のトラック幅方向寸法  $W_4$  は  $0.2 \mu m$  である。

【0 0 9 7】

次に、無機絶縁層 3 4 に溝 3 4 a を形成する第 3 の方法について図 1 5、図 1 6 を参照して説明する。

【0 0 9 8】

図 1 5 に示す工程では、上に成膜されたメッキ下地層 2 4 b 上に、無機絶縁層 3 4 に形成する溝 3 4 a の形状のリフトオフ用のレジスト層 4 1 をパターン形成する。リフトオフ用のレジスト層 4 1 の下面には切り込み部 4 1 a、4 1 a が形成されている。

【0 0 9 9】

次に、トラック幅方向に対する垂直方向から所定の角度  $\theta_6$  の方向からイオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法などのスパッタ法により、無機絶縁層 3 4 を成膜する。この際、無機絶縁層 3 4 を、レジスト層 4 1 の下面に形成された切り込み部 4 1 a、4 1 a 内にまで成膜する。

【0 1 0 0】

例えば、垂直磁気記録ヘッドが形成されている基板に対し、無機絶縁層 3 4 の組成で形成されたターゲットを斜めに傾けて、前記ターゲットを前記基板上で移動させながら、イオンビームスパッタ法により無機絶縁層 3 4 をメッキ下地層 2 4 b 上に成膜する。

【0 1 0 1】

または、前記ターゲットを固定して前記基板側を、前記ターゲットに対し斜め方向に移動させてもよい。また図 1 5 に示すように、レジスト層 4 1 の上には、無機絶縁層 3 4 と同じ組成の層 3 4 d が成膜される。

【0 1 0 2】

角度  $\theta_6$  の値は、 $0^\circ \sim 30^\circ$  の範囲であることが好ましい。なお、メッキ下地層 2 4 b の表面とレジスト層 4 1 の側面 4 1 b がなす角  $\theta_7$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  未満、より好ましくは、 $60^\circ$  以上  $80^\circ$  以下にする。本実施の形態では  $\theta_7 = 80^\circ$  としている。前記  $\theta_7$  の大きさを規定することにより、形成される主磁

極層 24 の側面のテーパ角を規定することができる。

【0103】

なお、溝 34 a の底面 34 c のトラック幅方向寸法  $W_5$  は  $0.2 \mu\text{m}$  である。

そして、図 16 に示すように、レジスト層 41 を、レジスト剥離液を用いながらリフトオフによって除去すると、側面 34 b、34 b が傾斜面または湾曲面である溝 34 a が形成された無機絶縁層 34 が形成される。無機絶縁層 34 に形成された溝 34 a のトラック幅方向の内幅寸法は、補助磁極層 21 から離れるにしたがって徐々に広がったものとなる。

【0104】

無機絶縁層 34 は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{AlSiN}$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{SiN}$ 、 $\text{NiO}$ 、 $\text{WO}$ 、 $\text{WO}_3$ 、 $\text{BN}$ 、 $\text{CrN}$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{SiON}$  のうち少なくとも 1 種以上で形成することができる。

【0105】

上述した 3 通りの方法のいずれかを用いて、溝 34 a が形成された無機絶縁層 34 を形成する。

【0106】

なお、図 12、図 14、図 16 に示される、無機絶縁層 34 の側面 34 b とメッキ下地層 24 b とがなす角  $\theta_3$ 、 $\theta_5$ 、 $\theta_7$  の大きさは、主磁極層 24 の側面 24 f とメッキ下地層 24 b とがなす角の大きさに等しく、さらに図 2 に示された主磁極層 24 の上辺 24 e と側面 24 f とがなす角  $\theta_2$  (テーパ角) に等しい。

【0107】

図 17 は、前記第 1 の方法で形成された無機絶縁層 34 を図 17 に示す。無機絶縁層 34 部分周辺を上方向から見た部分平面図、(A) は (B) の A-A 矢視方向から見た部分断面図である。

【0108】

無機絶縁層 34 には、記録媒体との対向面となる面に平行な断面においてトラック幅方向の内幅寸法が補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がる形状で

あり、ハイト方向に所定の奥行きを有する主磁極形成溝 3 4 a 1 と、メッキ溜め溝 3 4 a 2 とが形成されている。なお、無機絶縁層 3 4 の外側のメッキ下地層 2 4 b が露出している部分は、後のメッキ形成の工程においてダミーメッキを形成するためのダミー形成部 D である。

## 【 0 1 0 9 】

次に、図 1 8 に示すように、溝 3 4 内及びダミー形成部 D 上で、NiFe などの磁性材料を用いて主磁極層 2 4 及びダミーメッキ D m をメッキ形成する。

## 【 0 1 1 0 】

ダミーメッキ D m があると、メッキの品質を良くすることができる。メッキの形成にはパルスメッキ法を用いる。ただし、ダミー形成部 D 及びダミーメッキ D m は必ずしも形成されなくともよい。例えば、図 1 7 に示される工程の後、主磁極層 2 4 をメッキ形成する前に、ダミー形成部 D をレジスト層でカバーし、溝 3 4 a のみを開放させた状態で主磁極層 2 4 のみをメッキ形成して、ダミー形成部 D をカバーする前記レジスト層を除去し、図 2 2 に示される状態にしてもよい。

## 【 0 1 1 1 】

なお、本実施の形態では、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j の内幅寸法 W 6 が 0. 3  $\mu$  m となるように設定されている。この主磁極層 2 4 の上面 2 4 j の内幅寸法 W 6 は、上述したメッキ下地層 2 4 b の表面と無機絶縁層の側面 3 4 b がなす角  $\theta$  3、溝 3 4 a の底面 3 4 c のトラック幅方向寸法 W 2 及び主磁極層 2 4 のメッキ厚さを設定することによって規定することができる。

## 【 0 1 1 2 】

メッキ形成直後の上面 2 4 j は、図 1 8 に示されるように中央部分が盛り上がった湾曲面になっている。

## 【 0 1 1 3 】

次に、図 1 8 の図示上方向から主磁極層 2 4 の縦方向の中心線 C に対して所定の角度  $\theta$  8 だけ傾いた方向からミリング粒子 M を入射させる異方性イオンミリングを行う。

## 【 0 1 1 4 】

本発明では、主磁極層 2 4 の両側に無機絶縁層 3 4 が位置している状態で、主

磁極層 2 4 をイオンミリングにかけているので、本工程のイオンミリングによって削られるのは主磁極層 2 4 の上面 2 4 j のみである。

## 【 0 1 1 5 】

主磁極層 2 4 は図 1 8 に示されるように略逆台形に形成されているので、高さ方向に削れると上面 2 4 j の内幅方向の寸法も小さくなる。すなわち、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を研削することによって、垂直磁気記録ヘッドの T w 寸法をより小さくすることができる。

## 【 0 1 1 6 】

本発明では、イオンミリングによって主磁極層 2 4 の上面 2 4 j のみが研削され、側面 2 4 f, 2 4 f は研削されないので、主磁極層 2 4 は高さ方向（図示 Z 方向）にのみ削れていく。従って、本工程のイオンミリングによる主磁極層 2 4 の加工精度を向上させることが容易になり、垂直磁気記録ヘッドの T w 寸法を正確に規定することができる。

## 【 0 1 1 7 】

また、この主磁極層 2 4 の縦方向の中心線 C に対する斜め方向からのイオンミリングによって、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を平坦化させることができる。

## 【 0 1 1 8 】

中心線 C に対する所定の角度  $\theta 8$  は  $35^{\circ} \sim 80^{\circ}$  にすることが好ましく、より好ましくは  $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$  である。本実施の形態では、 $\theta 8$  を  $45^{\circ}$  に設定している。

## 【 0 1 1 9 】

イオンミリング後、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j は平坦化され、直線形状になっている。

## 【 0 1 2 0 】

イオンミリング終了後、図 2 0 に示すごとく主磁極層 2 4 及び無機絶縁層 3 4 をレジスト 4 2 で覆って保護し、ダミーメッキ D m をエッチングによって除去する。さらに、図 2 0 の図示上方向から、等方性イオンミリングまたはメッキ下地層 2 4 b の表面に対して垂直方向からミリング粒子 M を入射させる異方性イオンミリングを行うことにより、主磁極層 2 4 及び無機絶縁層 3 4 の下層以外のメッ

キ下地層 2 4 b を除去した後、レジスト層 4 2 を除去すると図 2 3 に示した状態になる。

## 【 0 1 2 1 】

また、主磁極層 2 4 及びダミーメッキ D m がメッキ形成された状態（図 1 8）にした後、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を削るイオンミリングを行う前に、図 2 1 に示すように主磁極層 2 4 及び無機絶縁層 3 4 をレジスト 4 3 で覆って保護し、ダミーメッキ D m をエッチングによって除去してもよい。

## 【 0 1 2 2 】

図 2 1 の工程では、ダミーメッキ D m のみが除去され、ダミーメッキ D m の下層のメッキ下地層 2 4 b は除去されないのでレジスト層 4 3 を除去した後は、図 2 2 に示されるような状態になる。

## 【 0 1 2 3 】

図 2 2 では、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j は中央部分が盛り上がった湾曲面になっている。そこで、次に、図 2 2 の図示上方向から主磁極層 2 4 の縦方向の中心線 C に対して所定の角度  $\theta_9$  だけ傾いた方向からミリング粒子 M を入射させる異方性イオンミリングを行い、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を削り、同時に主磁極層 2 4 及び無機絶縁層 3 4 の下層以外のメッキ下地層 2 4 b を除去する。

## 【 0 1 2 4 】

図 2 2 に示される工程におけるイオンミリングにおいても、主磁極層 2 4 が略逆台形に形成されているので、主磁極層 2 4 が高さ方向に削れると上面 2 4 j の内幅方向の寸法も小さくなる。すなわち、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を研削することによって、垂直磁気記録ヘッドの T w 寸法をより小さくすることができる。

## 【 0 1 2 5 】

本実施の形態でも、イオンミリングによって主磁極層 2 4 の上面 2 4 j のみが研削され、側面 2 4 f、2 4 f は研削されないで、主磁極層 2 4 は高さ方向（図示 Z 方向）にのみ削れていく。従って、本工程のイオンミリングによる主磁極層 2 4 の加工精度を向上させることが容易になり、垂直磁気記録ヘッドの T w 寸法を正確に規定することができる。

## 【 0 1 2 6 】

また、この主磁極層 2 4 の縦方向の中心線 C に対する斜め方向からのイオンミリングによって、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を平坦化させることができる。

【0 1 2 7】

中心線 C に対する所定の角度  $\theta 9$  は  $35^{\circ} \sim 80^{\circ}$  にすることが好ましく、より好ましくは  $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$  である。本実施の形態では、 $\theta 9$  を  $45^{\circ}$  に設定している。

【0 1 2 8】

イオンミリング後、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j は平坦化され直線形状になり、さらに主磁極層 2 4 及び無機絶縁層 3 4 の下層以外のメッキ下地層 2 4 b は除去されている（図 2 3）。

【0 1 2 9】

主磁極層 2 4 を形成する方法には、上述した Ni Fe などの磁性材料を用いたメッキ形成による方法に以外に、スパッタ法などの薄膜形成プロセスを用いて形成する方法がある。

【0 1 3 0】

図 2 4 から図 2 8 は、主磁極層 2 4 をスパッタ法によって形成する工程を示す垂直磁気記録ヘッドの横断面図である。

【0 1 3 1】

まず、図 1 0 から図 1 6 に示した工程によって、溝 3 4 a が形成された無機絶縁層 3 4 を形成する。ただし、主磁極層 2 4 をスパッタ法によって形成する場合にはメッキ下地層 2 4 b を成膜する必要がなくなる。また、主磁極層 2 4 を成膜プロセスによって形成するときには、図 2 4 に示されるように上の一面に無機絶縁層 3 4 を成膜後、主磁極形成用の溝 3 4 a を形成し、側面 3 4 b を傾斜面或いは湾曲面とするだけよく、メッキ形成するときには形成したダミーメッキ形成部及びメッキ溜め部が必要なくなる。

【0 1 3 2】

無機絶縁層 3 4 の形成後、溝 3 4 a を含む上の領域及び無機絶縁層 3 4 上に Ni Fe などの磁性材料を用い、スパッタ法或いはイオンビームスパッタ法によって磁性材料層 5 1 を成膜する（図 2 5）。

## 【0133】

次に、溝34 a内以外に形成された磁性材料層51を除去し、主磁極層24を形成する。

## 【0134】

主磁極層24を形成するためには、CMP技術やイオンミリング法などを用いて図25の無機絶縁層34および磁性材料層51を横断する水平面（B-B面）が表面に現れるように研磨あるいは研削する。

## 【0135】

主磁極層24が形成された状態を図26に示す。図26でも、主磁極層24は略逆台形状に形成されており、テーパ角が絶縁層3.3の表面33 aと無機絶縁層34の側面34 bがなす角 $\theta 10$ に等しい。なお、 $\theta 10$ は $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満、より好ましくは、 $60^\circ$ 以上 $80^\circ$ 以下にする。本実施の形態では $\theta 10 = 80^\circ$ としている。

## 【0136】

主磁極層24は図26に示されるように略逆台形に形成されているので、高さ方向に研磨するあるいは削ることにより、上面24 jの内幅方向の寸法も小さくできる。すなわち、主磁極層24の上面24 jの研磨量或いは研削量を調節することによって、垂直磁気記録ヘッドのトラック幅寸法Twを規定することができる。

## 【0137】

また、この主磁極層24の表面を研磨あるいは研削することにより、主磁極層24の上面24 jを平坦化させることができる。

## 【0138】

または、無機絶縁層34の形成後、図27に示すように、溝34 a以外の上の領域及び無機絶縁層34上の領域をレジスト層44で覆い、溝34 a内及びレジスト層44上に磁性材料をスパッタ法或いはイオンビームスパッタ法によって成膜し、溝34 a内に主磁極層24を、及びレジスト層44上に磁性材料層51を形成した後、図28に示すように、レジスト層44及び磁性材料層51を除去してもよい。この場合、主磁極層24の成膜時の膜厚によって垂直磁気記録ヘッド



のトラック幅寸法  $T_w$  を規定することができる。

【0139】

図28でも、主磁極層24は、上面24jが平坦化された略逆台形状に形成されており、テーパ角がの表面と無機絶縁層34の側面34bがなす角 $\theta_{10}$ に等しい。なお、 $\theta_{10}$ は $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 未満、より好ましくは、 $60^\circ$ 以上 $80^\circ$ 以下にする。本実施の形態では $\theta_{10} = 80^\circ$ としている。

【0140】

また、主磁極層24を、CMP技術やイオンミリングなどによって、高さ方向に研磨するあるいは削ることにより垂直磁気記録ヘッドのトラック幅寸法  $T_w$  を規定することもできる。

【0141】

なお、図26、図28に示される、無機絶縁層34の側面34bとの表面aとがなす角 $\theta_{10}$ の大きさは、主磁極層24の側面24fと絶縁層33の表面33aとがなす角の大きさに等しく、さらに図2に示された主磁極層24の上辺24eと側面24fとがなす角 $\theta_2$ （テーパ角）に等しい。

【0142】

図29は、図23に示される工程終了後の垂直磁気記録ヘッドの縦断面図である。図29に示された垂直磁気記録ヘッドでは、主磁極層24の断面形状は図23に示される略逆台形となっている。

【0143】

次に、図30に示すように、主磁極層24、絶縁層33、無機絶縁層34、接続層25、及び底上げ層31上に $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの無機絶縁材料からなる無機絶縁層35を成膜する。

【0144】

なお、主磁極層24の上面24jを平坦化させる方法として、上述した方法の他に、主磁極層24を無機絶縁層35で覆った後、CMP技術によって、上面24jを平坦化することもできる。

【0145】

その後、主磁極層24の後方部24c、接続層25の上面25a及び底上げ層

31の上面31aが露出するように、無機絶縁層34及び無機絶縁層35に穴部35a、35b、35cを形成する。穴部35a、35b、35cの形成後、主磁極層24の後方部24c上、無機絶縁層35上、接続層25の上面25a上及び底上げ層31の上面31a上にメッキ下地層36eを成膜する。

## 【0146】

メッキ下地層36eは、NiFe、Niなどの磁性材料またはCu、Au、Pd、Rh、Ru、Pt、NiLu、NiP、NiPd、NiW、NiB、NiMo、Ir、NiCu、NiCr、Cr、Tiなどの非磁性材料を用いて形成する。

## 【0147】

次に、図32の工程に示すように、主磁極層24及び接続層25上に磁氣的に接続されるヨーク層36をメッキ形成する。このときヨーク層36のトラック幅方向における幅寸法が前記主磁極層24と重ねられた位置での前記磁極層の幅寸法より幅広になる。

## 【0148】

なお本実施の形態でもヨーク層36の膜厚H2は、主磁極層24の膜厚H1よりも厚く形成される。

## 【0149】

従って、対向面H1aと平行な面で切断したときの断面で見たときに、主磁極層24の断面積が、ヨーク層36の後方領域部分の断面積よりも小さくなる。

## 【0150】

なお、主磁極層24はヨーク層36よりも飽和磁束密度Bsが高い磁性材料で形成されることが好ましい。

## 【0151】

次に底上げ層31と電氣的に接続されるリード層37を、底上げ層31上にCuなどの導電性材料を用いてメッキ形成し、ヨーク層36及びリード層37周辺の余分なメッキ下地層36dをイオンミリングによって除去する。

## 【0152】

なお、前記ヨーク層36と同時に、磁性材料を用いてリード層37を形成する

ことも可能である。

【 0 1 5 3 】

さらに、図 1 に示す保護層 1 3 を形成し対向面 H 1 a を研磨して、対向面 H 1 a に、補助磁極層 2 1 の前端面 2 1 b、絶縁層 3 3 の前端面 3 3 b および主磁極層 2 4 の前端面 2 4 a を同一面となるように露出させる。

【 0 1 5 4 】

また必要に応じて、図 1 に示すスライダ 1 1 の対向面 1 1 a と垂直磁気記録ヘッド H b の対向面 H 1 a とが、D L C などのカーボンを主体とする耐摩耗性の保護膜で覆われる。

【 0 1 5 5 】

また、図 2 6 又は図 2 8 に示した工程の後も図 2 9 から図 3 2 に示した工程と同様の工程によってヨーク層を形成する。

【 0 1 5 6 】

なお、図 1 1 の工程において溝部 4 0 a を、接続層 2 5 に重なる位置にまでハイト方向に延して形成し、主磁極層 2 4 を接続層 2 5 と磁氣的に接続させるようにしても良い。

【 0 1 5 7 】

また、図 1 において上部シールド層 5 1 と補助磁極層 2 1 を一体化して、ひとつの磁性層で前記上部シールド層 5 1 と補助磁極層 2 1 の機能を発揮させてもよい。

【 0 1 5 8 】

なお、前記読取り部  $H_R$  を設けず、スライダ 1 1 のトレーリング側端面 1 1 b に前記垂直磁気記録用の垂直磁気記録ヘッド H b のみを搭載してもよい。

【 0 1 5 9 】

なお、図 1 9 に示された工程においてメッキ形成された主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を平坦化し、ダミーメッキ D m を除去した後にメッキ下地層 2 4 b の除去を行わずに、このメッキ下地層 2 4 b を、ヨーク層 3 6 を形成するためのメッキ下地として用いるようにしてもよい。

【 0 1 6 0 】

図 3 3 は、主磁極層 2 4 の上面 2 4 j を平坦化し、ダミーメッキ D m を除去した後の状態を示す横断面図である。

【 0 1 6 1 】

図 3 4 は、図 3 3 に示される工程終了後の垂直磁気記録ヘッドの縦断面図である。図 3 4 に示された垂直磁気記録ヘッドでは、主磁極層 2 4 の断面形状は図 3 3 に示される略逆台形となっている。

【 0 1 6 2 】

主磁極層 2 4 をメッキ形成するために使用したメッキ下地層 2 4 b は、絶縁層 3 3 上、接続層 2 5 の上面 2 5 a 上及び底上げ層 3 1 の表面 3 1 a 上にも成膜されている。

【 0 1 6 3 】

次に、図 3 5 の工程に示すように、メッキ下地 2 4 b を用いて主磁極層 2 4 及び接続層 2 5 上に磁氣的に接続されるヨーク層 3 6 をメッキ形成する。このときヨーク層 3 6 のトラック幅方向における幅寸法が前記主磁極層 2 4 と重ねられた位置での前記磁極層の幅寸法より幅広になる。

【 0 1 6 4 】

なお本実施の形態ではヨーク層 3 6 の膜厚 H 2 は、主磁極層 2 4 の膜厚 H 1 よりも厚く形成される。

【 0 1 6 5 】

従って、記録媒体との対向面と平行な断面での、主磁極層 2 4 の断面積が、ヨーク層 3 6 の断面積よりも小さいものとなる。

【 0 1 6 6 】

またヨーク層 3 6 の前端面 3 6 a は、対向面となる面よりもハイト方向奥側に位置するように形成される。

【 0 1 6 7 】

またヨーク層 3 6 の前端面 3 6 a は、ハイト方向（図示 X 方向）に対する垂直面となっている。ただし、ヨーク層 3 6 の前端面 3 6 a が下面から上面に向けてハイト方向に傾く傾斜面あるいは湾曲面で形成されてもよい。ヨーク層 3 6 の下に形成される主磁極層 2 4 の上面とヨーク層 3 6 の前端面 3 6 a 間の外角  $\theta 1$  は

90°以上であることが好ましい。これによって主磁極層24からヨーク層36に向けて漏れる磁界を少なくでき主磁極層24により磁界を集中させることができるからである。

【0168】

なお、主磁極層24はヨーク層36よりも飽和磁束密度 $B_s$ が高い磁性材料で形成されることが好ましい。

【0169】

次に底上げ層31と電氣的に接続されるリード層37を、底上げ層31上にCuなどの導電性材料を用いてメッキ形成し、ヨーク層36及びリード層37周辺の余分なメッキ下地層24bをイオンミリングによって除去し、ヨーク層36及びリード層37の絶縁をとる。

【0170】

本実施の形態では、メッキ下地層24bが、Cu, Au, Pd, Rh, Ru, Pt, Ni, Lu, NiP, NiPd, NiW, NiB, NiMo, Ir, NiCu, NiCr, Cr, Tiなどの非磁性材料を用いて形成されているので、主磁極層24周辺に残存していても、記録媒体上の記録トラックパターンが乱れることを防ぐことができる。すなわち、メッキ下地層24bの除去は、ヨーク層36及びリード層37などの電氣的な絶縁がとれる程度に行われればよい。

【0171】

なお、前記ヨーク層36と同時に、磁性材料を用いてリード層37を形成することも可能である。

【0172】

次に、図1に示す保護層13を形成する。さらに対向面H1aを研磨して、対向面H1aに、補助磁極層21の前端面21b、絶縁層33の前端面33bおよび主磁極層24の前端面24aを同一面となるように露出させる。

【0173】

また必要に応じて、図1に示すスライダ11の対向面11aと垂直磁気記録ヘッドHbの対向面H1aとが、DLCなどのカーボンを主体とする耐摩耗性の保護膜で覆われる。

## 【 0 1 7 4 】

なお、主磁極層 2 4 の平面形状を図 4 または図 5 に示された形状にするには、図 1 1 または図 1 5 に示す工程において、レジスト層 4 0 を露光現像するときの溝 4 0 a の磁極形成溝 4 0 a 1 の抜き形状またはレジスト層 4 1 の平面形状を、図 4 または図 5 に示された主磁極層 2 4 の平面形状と同じ形状にすればよい。

## 【 0 1 7 5 】

ヨーク層 3 6 の前端部の形状は、図 3、図 4、または図 5 に示される形状で形成することができ、また主磁極層 2 4 上にヨーク層 3 6 を重ねるときには、図 3、図 4、図 5 に示されるような位置で重ねあわせる。

## 【 0 1 7 6 】

## 【実施例】

図 3 7 は、前述した本発明の製造方法の実施の形態中の図 1 8 又は図 2 2 に示された工程にある垂直磁気記録ヘッドの磁極層周辺の部分断面図である。

## 【 0 1 7 7 】

図 3 7 の図示上方向から主磁極層 2 4 の縦方向の中心線 C に対して所定の角度  $\theta 8$ （又は  $\theta 9$ ）だけ傾いた方向から異方的にミリング粒子を入射させるイオンミリングを行っている。

## 【 0 1 7 8 】

図 3 8 は、主磁極層 2 4 の縦方向の中心線 C に対するミリング角度とエッチング速度との関係を示すグラフである。

## 【 0 1 7 9 】

(口) で表されるグラフ曲線は、主磁極層 2 4 の高さ方向（図 3 7 に示す Z 方向）のエッチング速度である。主磁極層 2 4 の高さ方向のエッチング速度は、中心線 C に対するミリング角度に依存している。グラフより前記ミリング角度が約 4 0 度のとき、最もエッチング速度が大きくなっている。前記ミリング角度が約 4 0 度より小さくなるにつれて、または約 4 0 度より大きくなるにつれてエッチング速度は小さくなっていく。特に前記ミリング角度が約 7 0 度前後のとき、前記ミリング角度の変化量に対するエッチング速度の変化率が最も大きくなっている。

## 【0180】

図37に示されるように、主磁極層24の上面24jは、中心部分が盛り上がった湾曲面となっているので、ミリング粒子が前記中心線Cに対して所定の角度 $\theta 8$ だけ傾いた方向から異方的に入射する時、上面24j上の各点の接平面の法線方向とミリング粒子の入射方向との角度は前記各点ごとに異なる角度になる。

## 【0181】

例えば、図37の点P1における接平面S0の法線（中心線C）方向とミリング粒子M1の入射方向との角度は $\theta 8$ である。また、点P2における接平面S1の法線V1方向とミリング粒子M2の入射方向との角度を $\theta 8a$ とすると、 $\theta 8 \neq \theta 8a$ となる。従って、主磁極層24の上面24j上の各点における前記ミリング速度に差が生じる。

## 【0182】

本発明では、主磁極層24の上面24jをイオンミリングによってエッチングしていくときに、前記上面24j上の各点におけるエッチング速度に差を生じさせることができ、しかも、エッチングの進行とともに、上面24j上におけるエッチング速度の速さの分布が変化していくために、主磁極層24の上面24jの湾曲が全体としてなだらかになっていき、最後には前記上面24jを図19または図23に示すように平坦面とすることができるのである。

## 【0183】

また、主磁極層24の高さ方向のミリング速度が遅すぎると、エッチング加工の効率が悪くなるので、前記角度 $\theta 8$ は35度以上80度以下であることが好ましい。または、前記角度 $\theta 8$ が40度以上50度以下であるとより好ましい。

## 【0184】

前記角度 $\theta 8$ が40度以上50度以下であれば、前記角度 $\theta 8$ の変化量に対するエッチング速度の変化率を大きくでき、前記上面24j上の各点におけるエッチング速度の差を大きくすることができ、前記上面24jを効率よく平坦化することができる。

## 【0185】

図39及び図40は、上述した垂直磁気記録ヘッドの製造方法の実施の形態に

において、メッキ下地層 2 4 b が磁性材料を用いて形成された場合と非磁性材料を用いて形成した場合とで、磁気記録特性が変化することを示すグラフである。

## 【 0 1 8 6 】

図 3 9 は、メッキ下地層 2 4 b が磁性材料を用いて形成された垂直磁気記録ヘッドの磁気記録特性をマイクロトラックプロファイル法によって測定した結果を示している。

## 【 0 1 8 7 】

マイクロトラックプロファイル法とは、記録媒体上に微小トラックである信号を記録しておき、磁気抵抗効果素子などの再生素子を記録トラック上でトラック幅方向に走査させて再生出力を読み取ることにより、記録トラック上のトラック幅方向の記録信号強度分布を測定するものである。

## 【 0 1 8 8 】

図 3 9 に示されるように、メッキ下地層 2 4 b が磁性材料を用いて形成されると、記録トラック上には主信号  $S_m$  のピーク以外にサイド信号  $S_s$  のピークが現れる。このサイド信号  $S_s$  は、主磁極層 2 4 に重なる領域以外の領域のメッキ下地層 2 4 b によって書き込まれたものであり、垂直磁気記録ヘッドにスキュー角が生じたときに特に発生しやすくなる。

## 【 0 1 8 9 】

図 4 0 は、メッキ下地層 2 4 b が非磁性材料を用いて形成された垂直磁気記録ヘッドの磁気記録特性をマイクロトラックプロファイル法によって測定した結果を示している。

## 【 0 1 9 0 】

図 4 0 に示されるように、メッキ下地層 2 4 b が非磁性材料を用いて形成されると、記録トラック上には主信号  $S_m$  のピークのみが現れ、サイド信号  $S_s$  は検出されない。

## 【 0 1 9 1 】

すなわち、メッキ下地層 2 4 b が非磁性材料を用いて形成された場合には、主磁極層 2 4 の側辺 2 4 f 1, 2 4 f 1 とメッキ下地層 2 4 b の側辺 2 4 b 1, 2 4 b 1 が連続した直線形状または曲線形状を構成していなくとも、例えば図 2 に



示すように、主磁極層 2 4 の底面 2 4 d のトラック幅方向の幅寸法よりも、メッキ下地層 2 4 b のトラック幅方向の幅寸法の方が大きくなっても記録媒体上にサイド信号 S s が現れることを防いで、記録トラックパターンが乱れることを防ぐことができることがわかる。

## 【 0 1 9 2 】

従って、メッキ下地層 2 4 b が非磁性材料を用いて形成することにより、垂直磁気記録ヘッドの高記録密度化対応を容易にすることができる。

## 【 0 1 9 3 】

## 【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明では、前記無機絶縁層に、トラック幅方向の内幅寸法が、補助磁極層から離れるにしたがって徐々に広がり、且つ前記対向面から奥側へ所定の奥行きを有する溝を形成し、前記溝内で主磁極層を形成する。

## 【 0 1 9 4 】

すなわち、得られた垂直磁気記録ヘッドの記録媒体との対向面において前記主磁極層の正面形状を略逆台形にすることができる。

## 【 0 1 9 5 】

前記対向面において前記主磁極層の正面形状が略逆台形になっていると、記録媒体に記録を行うとき、前記主磁極層の側辺が記録媒体の移動接線方向に対してスキュー角を生じて、前記側辺が記録トラックの外にはみ出すことを防ぐことができ、フリンジングを防止できるようになり、オフトラック性能の向上を図ることができる。

## 【 0 1 9 6 】

また、本発明では、前記主磁極層の上面を平坦化させることにより、前記対向面において前記主磁極層の前記上辺を直線形状にすることができる。

## 【 0 1 9 7 】

前記主磁極層の前記上辺が直線状にされていると前記記録トラックの磁区境界が直線形状となり、記録トラックの長さ方向（図示 A 方向）の記録密度を上げても鮮明な記録磁化分布を得ることができ、良好な記録再生特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明によって製造された垂直磁気記録ヘッドが記録媒体に対向している状態を示す断面図、

【図 2】

図 1 に示す垂直磁気記録ヘッドを記録媒体との対向面から見た正面図、

【図 3】

図 1 の B 矢視の平面図、

【図 4】

本発明の他の実施の形態によって製造された垂直磁気記録ヘッドを上方向から見た平面図、

【図 5】

本発明の他の実施の形態によって製造された垂直磁気記録ヘッドを上方向から見た平面図、

【図 6】

図 1 ないし図 3 に示された垂直磁気記録ヘッドにスキュー角が発生した状態を示す説明図、

【図 7】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 8】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 9】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 1 0】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 1 1】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明するものであり、（A）は横断面図、（B）は垂直磁気記録ヘッドの上方向から見た平面図、

【図 1 2】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 1 3】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 1 4】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 1 5】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 1 6】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 1 7】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明するものであり、（A）は横断面図、（B）は垂直磁気記録ヘッドの上方向から見た平面図、

【図 1 8】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 1 9】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 0】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 1】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 2】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 3】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 4】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する平面図、

【図 2 5】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 6】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 7】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 8】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 2 9】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 0】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 1】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 2】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 3】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する横断面図、

【図 3 4】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 5】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 6】

垂直磁気記録ヘッドの製造工程を説明する縦断面図、

【図 3 7】

イオンミリングにかけられている主磁極層の横断面図、

【図 3 8】

イオンミリングのミリング角度と主磁極層のエッチング速度の関係を示すグラフ

【図 3 9】

メッキ下地層が磁性材料からなる垂直磁気記録ヘッドの磁気記録特性、

【図 4 0】

メッキ下地層が非磁性材料からなる垂直磁気記録ヘッドの磁気記録特性、

【図 4 1】

従来の垂直磁気記録ヘッドを示す断面図、

【図 4 2】

従来の垂直磁気記録ヘッドの部分正面図、

【図 4 3】

従来の垂直磁気記録ヘッドにスキュー角が発生した状態を示す説明図、

【符号の説明】

H 1 垂直磁気記録ヘッド

H 1 a 対向面

M 記録媒体

M a ハード膜

M b ソフト膜

1 1 スライダ

1 2 非磁性絶縁層

1 3 保護層

2 1 補助磁極層

2 3 非磁性金属層

2 4 b メッキ下地層

2 4 主磁極層

2 5 接続層

2 6 非磁性絶縁層

2 7 コイル層

3 1 底上げ層

3 2 有機材料の絶縁層

3 3 絶縁層

3 4、3 5 無機絶縁層

3 6 ヨーク層

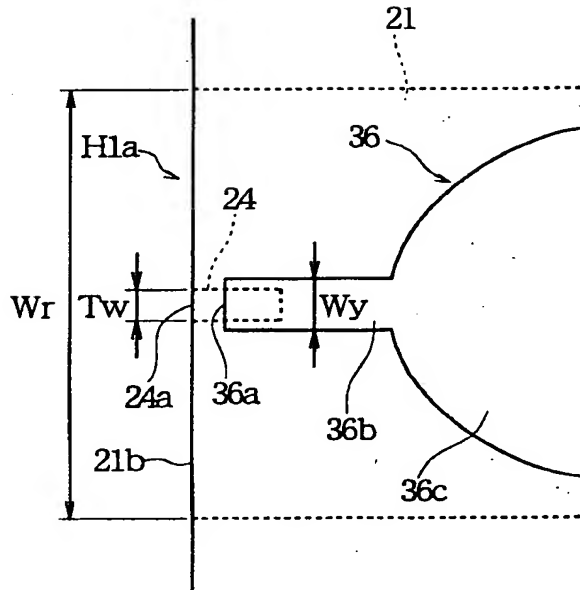
3 7 リード層





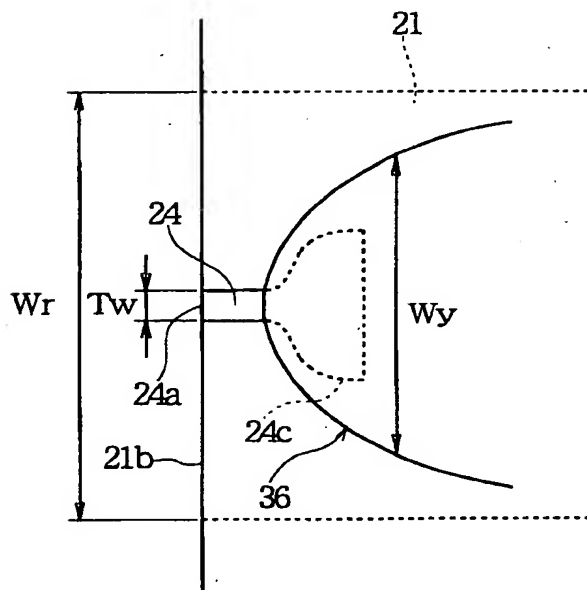
【図 4】

図 4



【図 5】

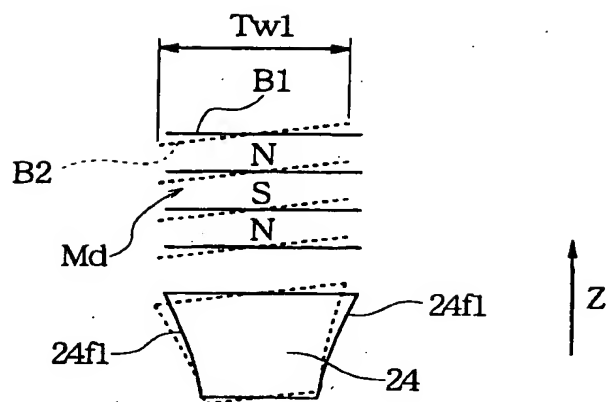
図 5





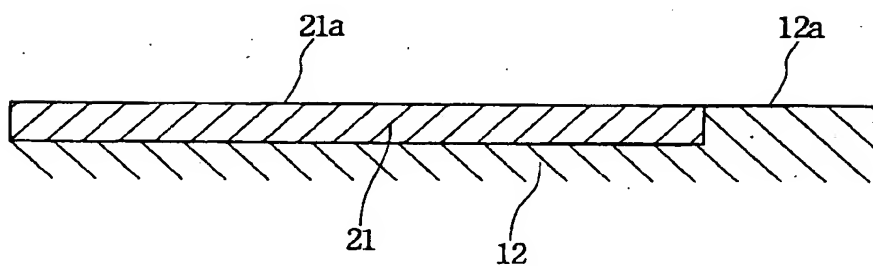
【図 6】

図 6



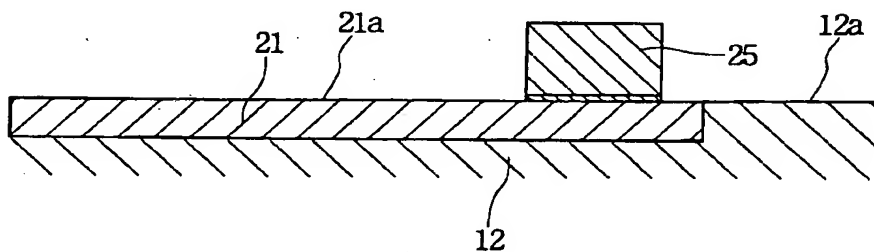
【図 7】

図 7



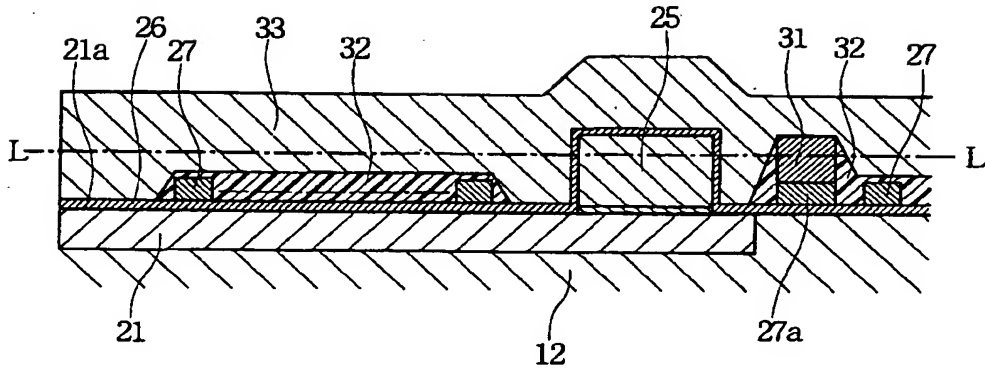
【図 8】

図 8



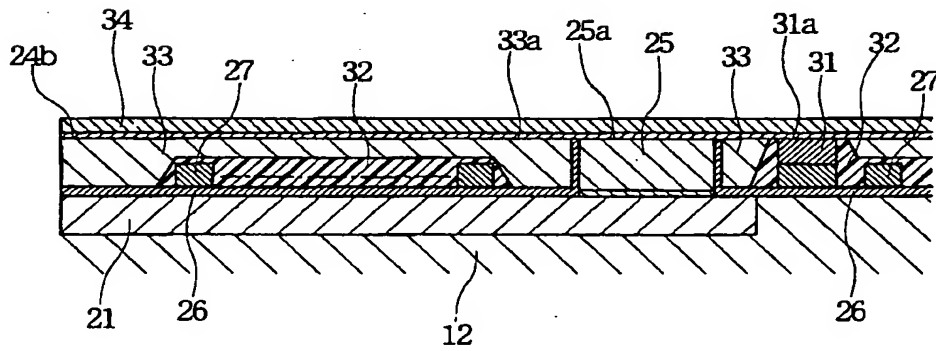
【図 9】

図 9

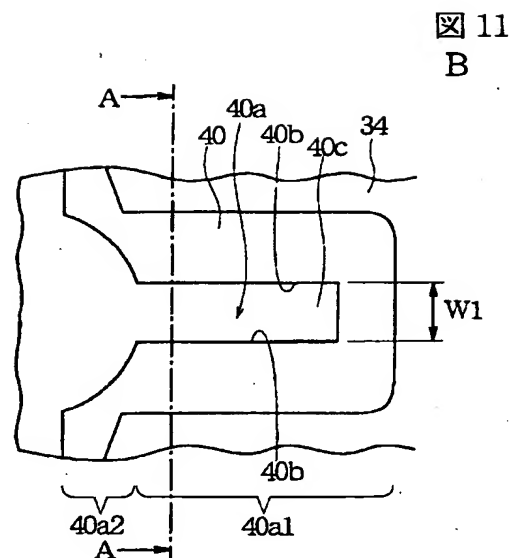
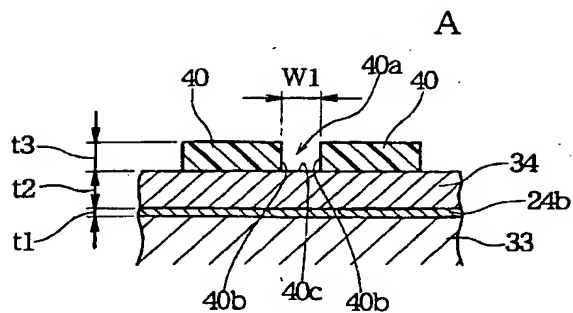


【図 1 0】

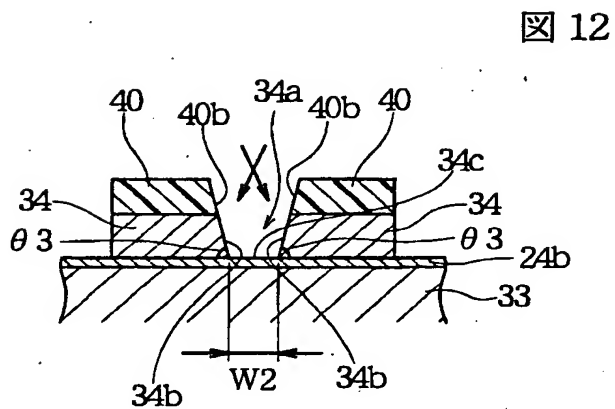
図 10



・【図 1 1】

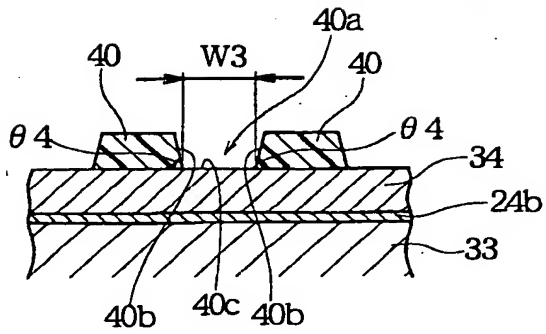


【図 1 2】



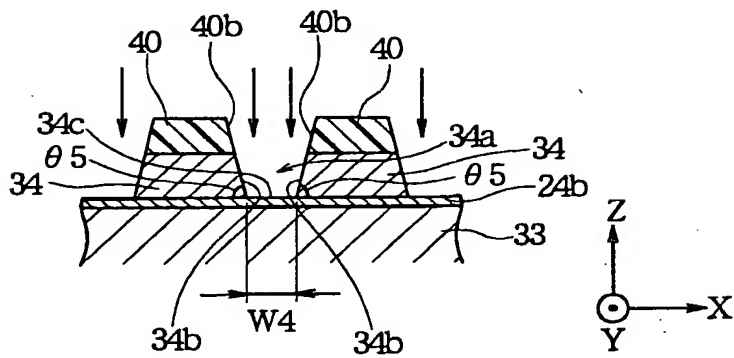
【図 1 3】

図 13



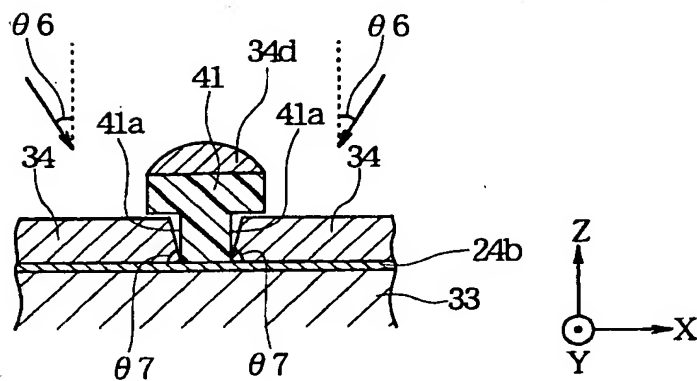
【図 1 4】

図 14



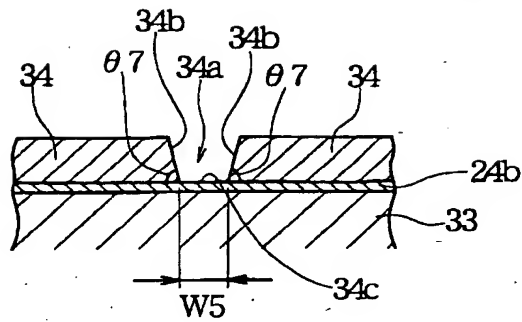
【図 1 5】

図 15



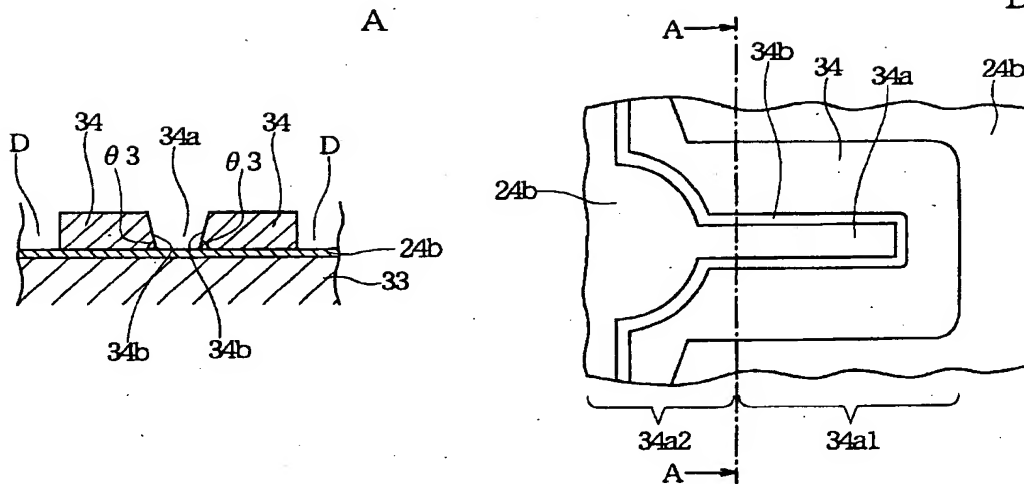
【図 1 6】

図 16



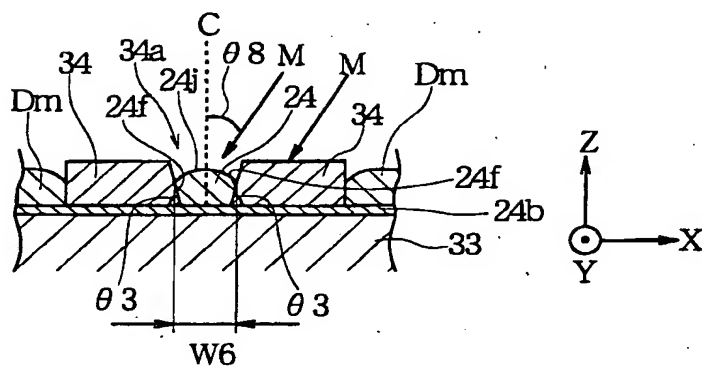
【図 1 7】

図 17  
B



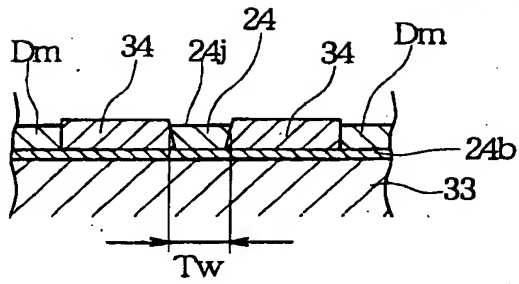
【図 1 8】

図 18



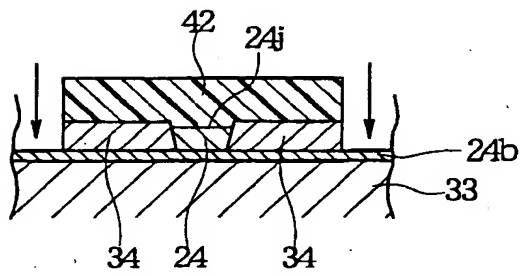
【図 1 9】

図 19



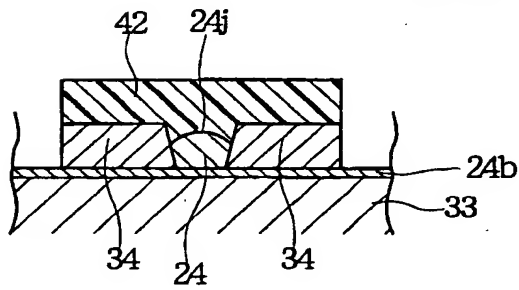
【図 2 0】

図 20



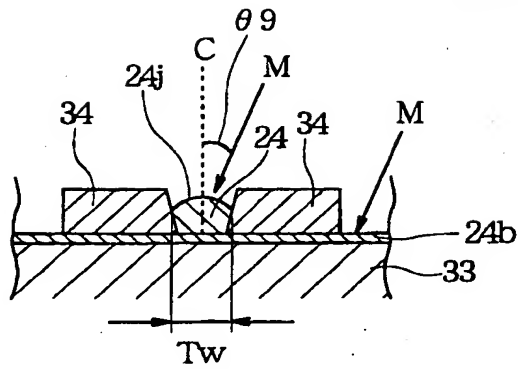
【図 2 1】

図 21



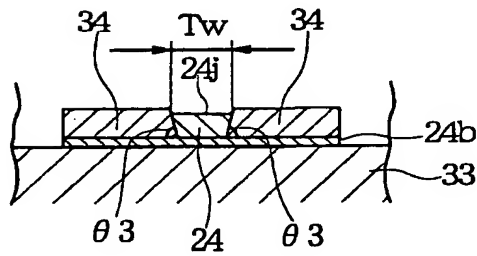
【図 2 2】

図 22



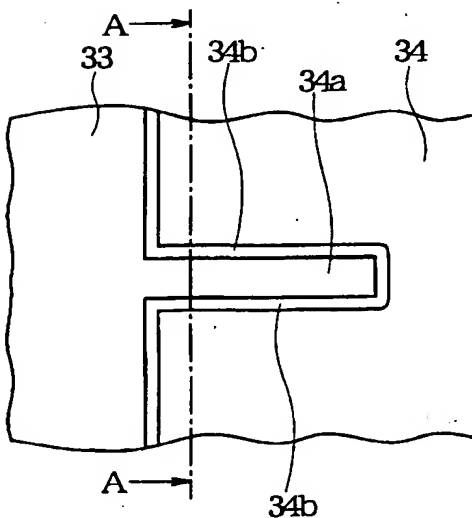
【図 2 3】

図 23



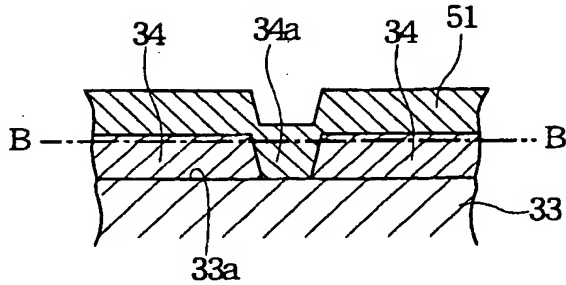
【図 2 4】

図 24



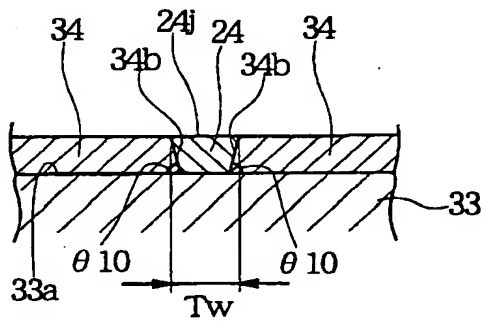
【図 2 5】

図 25



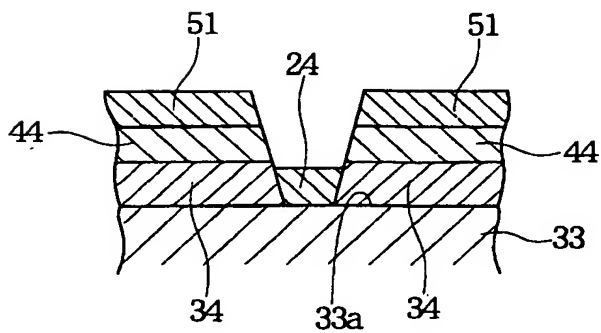
【図 2 6】

図 26



【図 2 7】

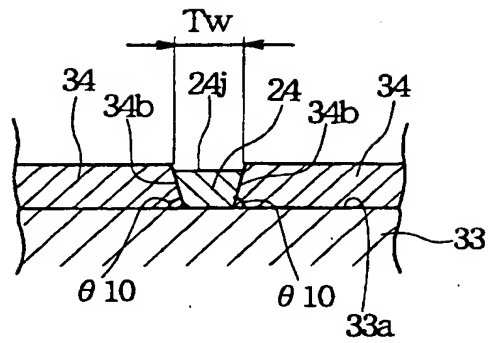
図 27





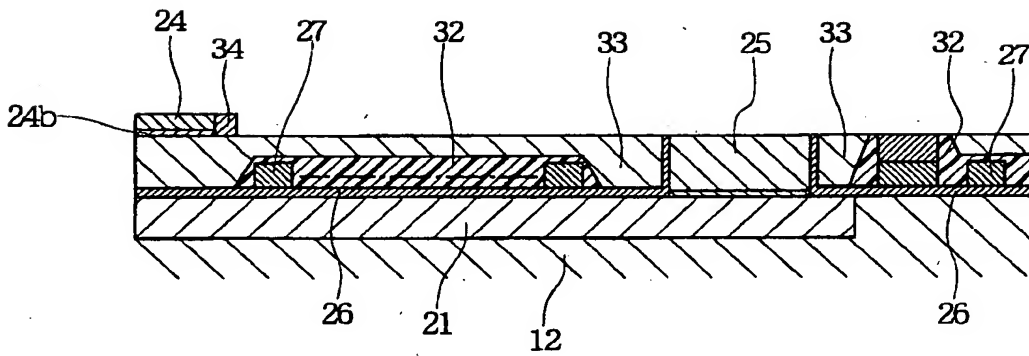
【図 2 8】

図 28



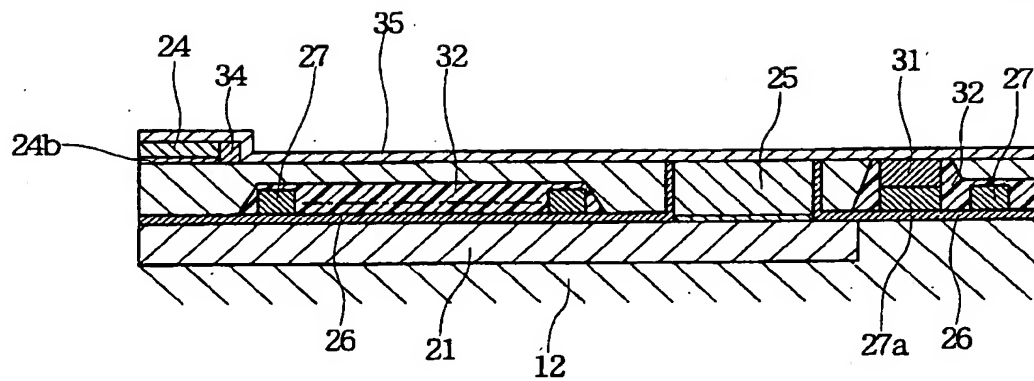
【図 2 9】

図 29



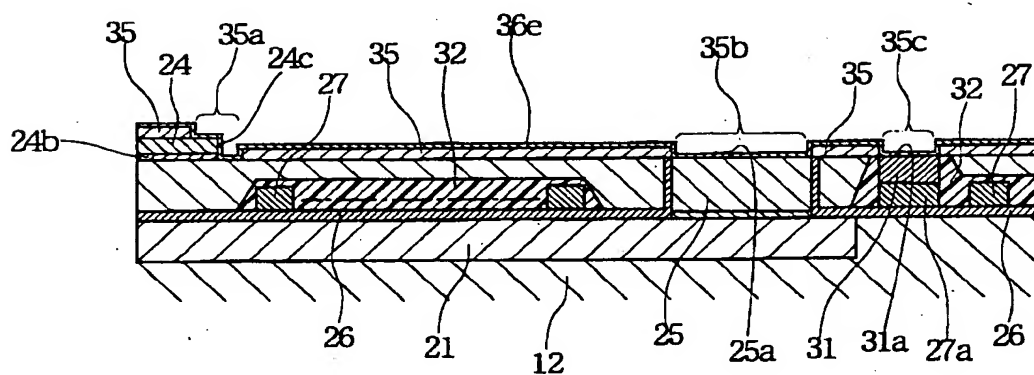
【図 3 0】

図 30

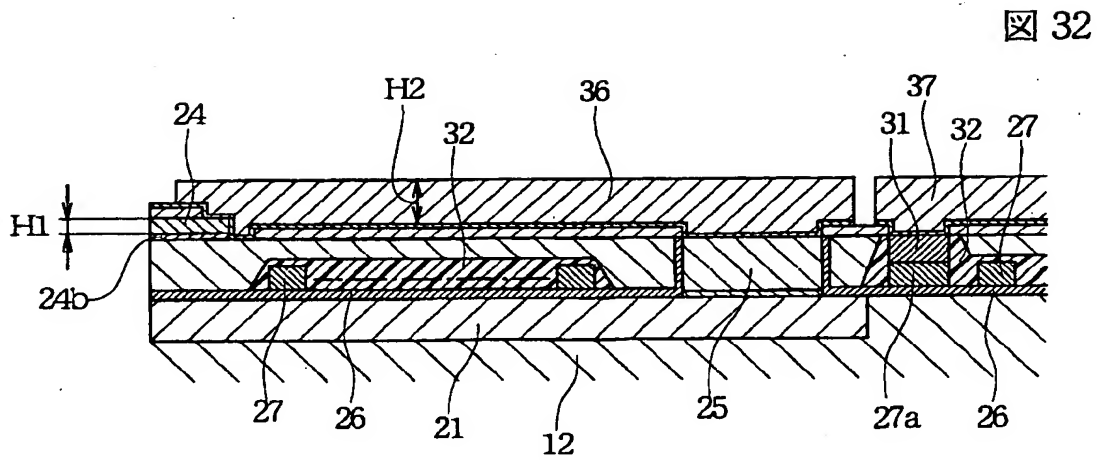


【図 3 1】

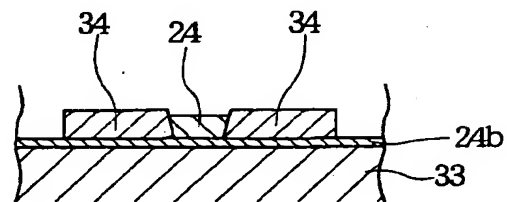
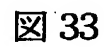
図 31



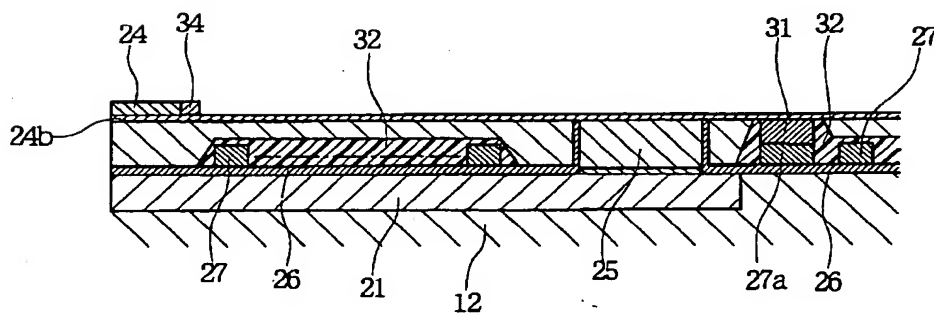
【図 3 2】



【図 3 3】

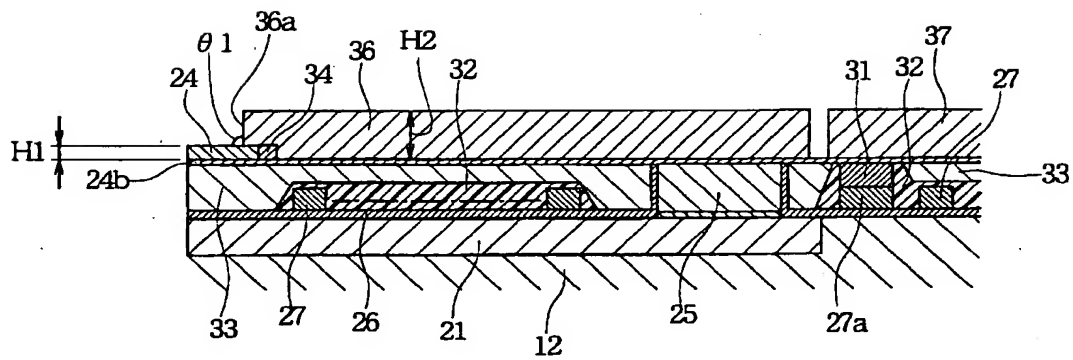


【図 3 4】



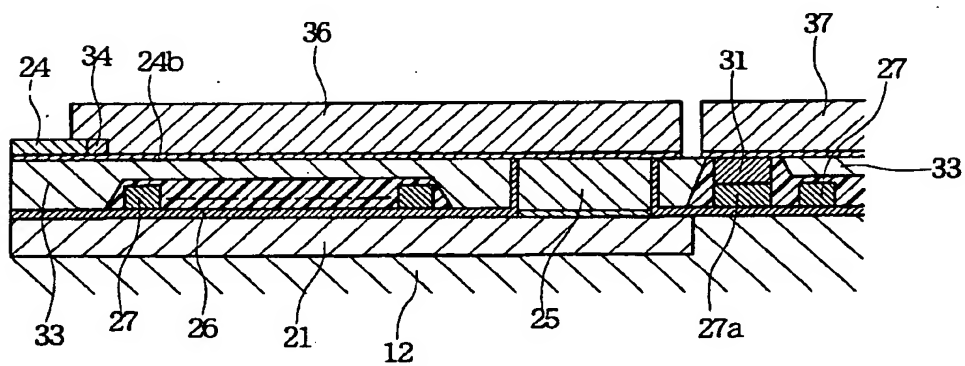
【図 3 5】

図 35



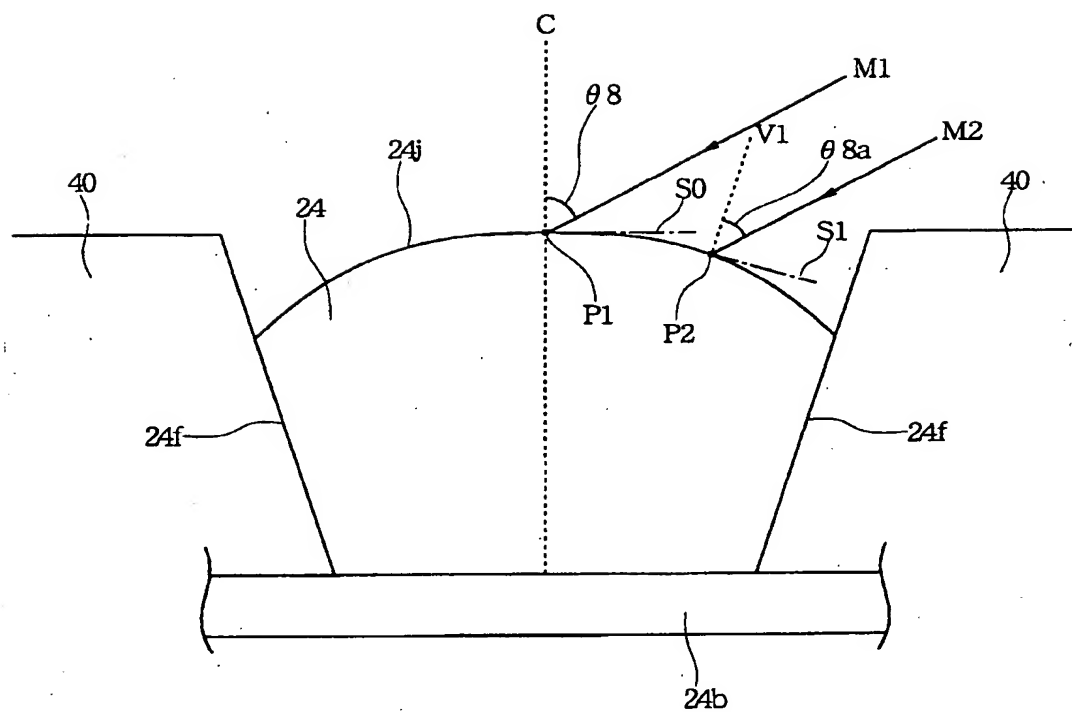
【図 3 6】

図 36



【図 3 7】

図 37

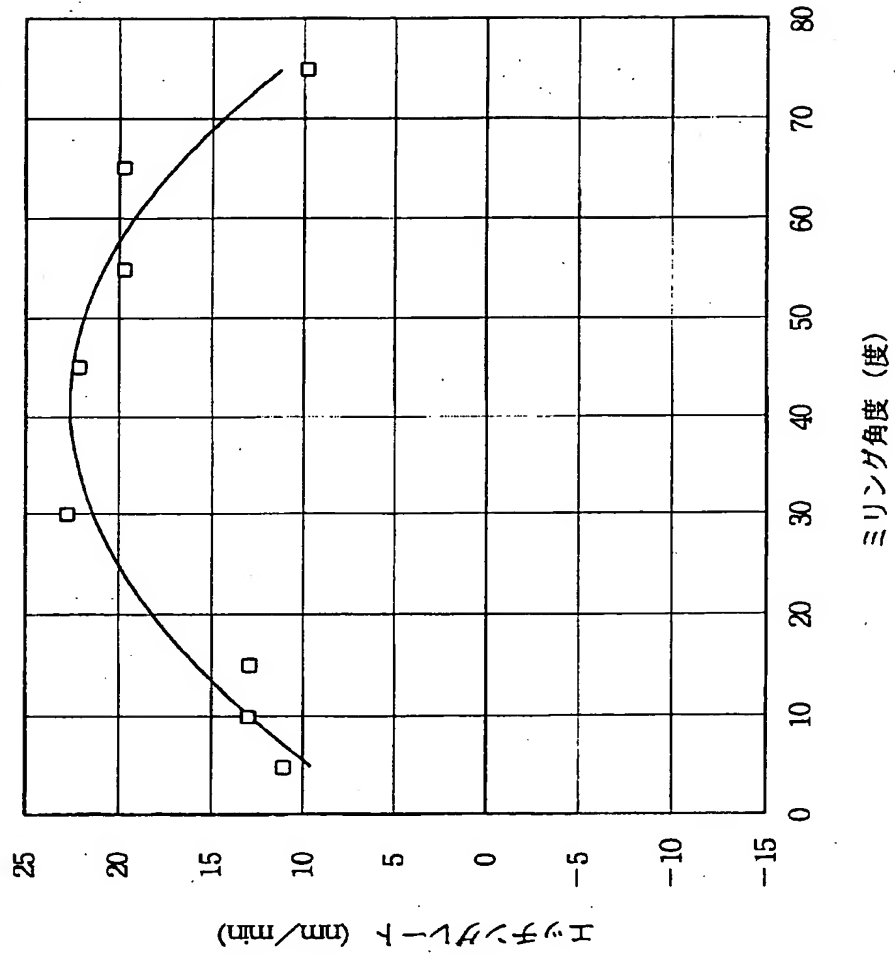


【図 38】

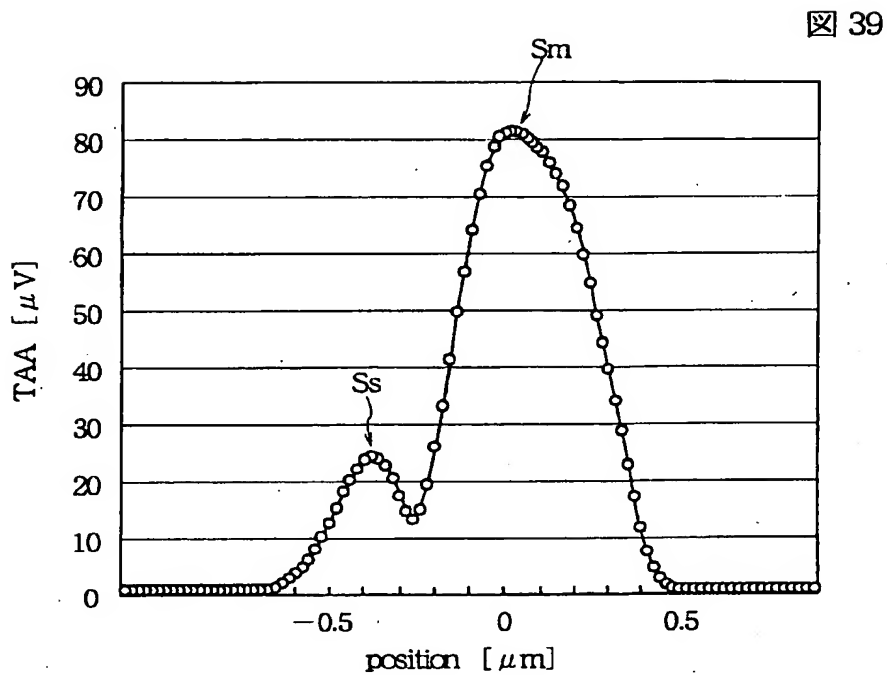
図 38

ミリングパワー  
600mA/800V

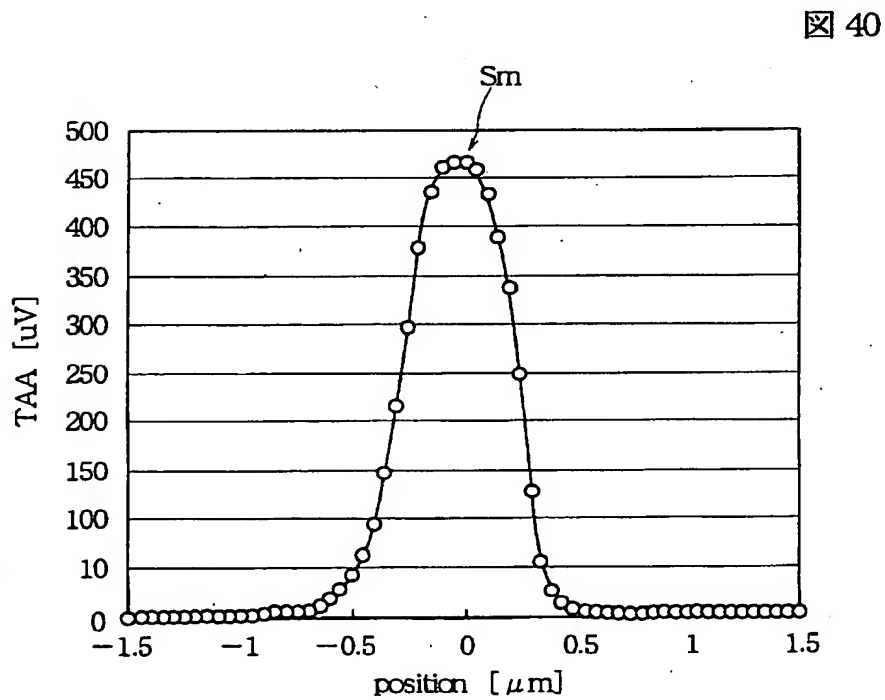
ミリング角度 v.s. エッチングレート



【図 3 9】



【図 4 0】

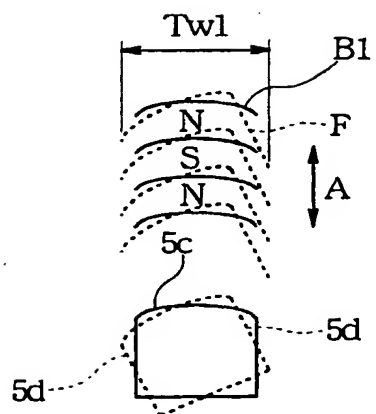






【図 4 3】

図 43



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来の垂直記録型の垂直磁気記録ヘッドでは、スキュー角が発生したときにサイドフリンジングが発生していた。

【解決手段】

主磁極層 2 4 の記録媒体との対向面での正面形状を略逆台形にすることにより、スキュー角が発生しても側辺 2 4 f 1 がトラックの幅方向にはみ出すことが防止でき、サイドフリンジングを抑えることができる。

【選択図】 図 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 1 0 0 9 8 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 7 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号
氏 名	アルプス電気株式会社